



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**RESPOSTA DO FEIJOEIRO A DOSES DE
NITROGÊNIO NO PLANTIO E COBERTURA
E À INOCULAÇÃO DE SEMENTES COM
RIZÓBIO**

VANDEIR GREGÓRIO ALVES

2002



1

1911

52969

37518-MFN

VANDEIR GREGÓRIO ALVES

RESPOSTA DO FEIJOEIRO A DOSES DE NITROGÊNIO NO PLANTIO E
COBERTURA E À INOCULAÇÃO DE SEMENTES COM RIZÓBIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre"

Orientador

Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade

LAVRAS

MINAS GERAIS - B

N.º CLAS

REGIST

DATA

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Alves, Vandeir Gregório

Resposta do feijoeiro a doses de nitrogênio no plantio e cobertura e à inoculação de sementes com rizóbio / Vandeir Gregório Alves. -- Lavras : UFLA, 2002.
46 p. : il.

Orientador: Messias José Bastos de Andrade.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Adubação nitrogenada. 3. *Rhizobium tropici*. 4. Feijão. 5. Inoculante. 6. Fixação biológica de nitrogênio. 7. Macronutrientes
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.652894

VANDEIR GREGÓRIO ALVES

RESPOSTA DO FEIJOEIRO A DOSES DE NITROGÊNIO NO PLANTIO E
COBERTURA E À INOCULAÇÃO DE SEMENTES COM RIZÓBIO

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Lavras, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, área de concentração Fitotecnia,
para obtenção do título de “Mestre”

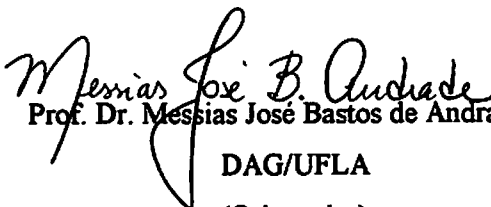
APROVADA em 01 de março de 2002

Prof. Dr. Augusto Ramalho de Moraes

DEX/UFLA

Prof.^a Dra. Janice Guedes de Carvalho

DCS/UFLA


Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade
DAG/UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

A DEUS

OFEREÇO

A Aristides Antônio Gregório e Maria Lúcia Gregório (in memorian)

**Pela dedicação ao trabalho, pela educação, companheirismo, amor, sabedoria,
exemplos e experiências transmitidas aos filhos.**

AGRADEÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura (DAG) pela minha formação;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de estudos;

Ao professor Messias José Bastos de Andrade, pela orientação, dedicação, conhecimentos e conselhos transmitidos, paciência e amizade;

Aos professores Fátima Maria de Souza Moreira e Pedro Milanez de Rezende pela co-orientação;

Aos professores Augusto Ramalho Morais, Janice Guedes de Carvalho e João Batista Donizeti Corrêa pelas sugestões, atenção e auxílio nos trabalhos;

Aos amigos feijoeiros Antônio Barbara, Cláudio Roberto, Kikuti, Itamar Rosa, João Roberto, Tadeu, Marcelo Vieira e Neiva Maria, pela camaradagem;

À todos os funcionários do DAG, em especial à Cida, Aguinaldo, Alessandro, Correia, Júlio, João Pila e Manguinho pelo auxílio nos trabalhos;

Aos amigos Adão Marcelino, Adelson, Cícero(Ceará), Douglas, Edmilson, Frederico, Gilmar(Bacana), Jaime Sidney, João(Lafon), Joerley Moreira, Júlio César, Leonardo (Almenara), Murilo, Renato(Maranhão), Ricardo(Presuntinho), Ricardão, Valdimilson, Wellington, e Zózimo, pela convivência, força e amizade;

Aos meus irmãos Valdir Gregório Alves, Maria Cristina Silva, Vailton Gregório Alves (in memorian), Valmir Gregório Alves, Cristiane Alves e Cristimar Gregório pelo incentivo, lealdade, reciprocidade de afeto e cooperação;

À Alessandra Rodrigues Duarte pelo galanteio, benevolência, dedicação, carinho, compreensão e convivência;

À todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para minha formação e realização desse trabalho, especialmente à nação brasileira.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Nitrogênio (N).....	3
2.2 A fixação biológica de N ₂ (FBN).....	5
2.3 Nutrição da planta x FBN.....	8
2.4 Absorção e teores foliares de nutrientes.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Localização, clima e solo.....	13
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	15
3.3 Implantação e condução dos experimentos.....	16
3.4 Características avaliadas.....	18
3.5 Análise estatística.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1 Características agronômicas	20
4.1.1 Estande inicial.....	22
4.1.2 Estande final.....	24
4.1.3 Massa seca da parte aérea.....	24
4.1.4 Rendimento de grãos.....	27
4.2 Nodulação radicular.....	29
4.3 Teores foliares de macronutrientes.....	34
5. CONCLUSÕES.....	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

RESUMO

ALVES, Vandeir Gregório. Resposta do feijoeiro a doses de nitrogênio no plantio e cobertura e à inoculação das sementes com rizóbio. 2002. 46p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras*.

Para avaliar a resposta do feijoeiro a doses de fertilizante nitrogenado, no plantio e em cobertura, na presença da inoculação das sementes com rizóbio, foram conduzidos três experimentos de campo (safras de inverno 2000, águas 2000/2001 e seca 2001) em um Latossolo Vermelho distroférico, na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras – MG. Adotou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições e com os tratamentos dispostos no esquema fatorial $(4 \times 4) + 2$, envolvendo quatro doses de nitrogênio no plantio (0, 15, 30 e 45 kg.ha⁻¹ de N) e quatro doses de nitrogênio em cobertura (0, 15, 30 e 45 kg.ha⁻¹ de N), todos inoculados. Os dois tratamentos adicionais, não inoculados, foram: 1) ausência de adubação nitrogenada e 2) adubação nitrogenada mineral (45 kg.ha⁻¹ de N no plantio e 45 kg.ha⁻¹ de N em cobertura). Foram avaliados os estandes inicial e final, a massa seca da parte aérea, o rendimento de grãos e o número e tamanho de nódulos radiculares. No ensaio do inverno avaliou-se também o teor de macronutrientes nas folhas do feijoeiro. O incremento das doses de N no plantio resulta em aumentos na massa seca da parte aérea e no rendimento de grãos do feijoeiro, mas este efeito é diferenciado nas três safras. O aumento das doses de N em cobertura resulta em acréscimo linear no rendimento de grãos, independentemente da safra. Com base na nodulação dos feijoeiros, a inoculação das sementes com a estirpe BR 322 (CIAT 899) de *Rhizobium tropici* não é eficiente. As doses de N não alteram os teores foliares dos macronutrientes, exceto o de Ca.

* Comitê Orientador: Messias José Bastos de Andrade - UFLA (Orientador), Fátima Maria de Souza Moreira - UFLA (Co - orientadora) e Pedro Milanez de Resende - UFLA (Co - orientador).

ABSTRACT

ALVES, Vandeir Gregório. Common bean response to N levels at planting and covering and to the rhizobia seed inoculation. 2002. 46p. Dissertation (Master in Crop Science) Universidade Federal de Lavras, Lavras*.

Three field experiments (2000 winter-spring, 2000-2002 summer and 2001 summer – fall sowing seasons) were carried out on a Red Latossol at experimental area of the Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais State, Brasil, in order to evaluate the common bean response to N levels at planting and covering in the presence of the seed rhizobia inoculation. The experimental design was randomized blocks with three replications and treatments in (4 x 4) + 2 factorial arrangement, involving four N dosis at planting (0, 15, 30 and 45 kg N ha⁻¹) and four N dosis at covering (0, 15, 30 and 45 kg N ha⁻¹), all inoculated. The additional treatments, without inoculation, were: 1) no mineral nitrogen and 2) mineral nitrogen (45 kg N ha⁻¹ both at planting and covering). The initial and final stands, dry weight of the aerial part, grain yield and nodules number and size were evaluated. At summer-fall season, the macronutrient foliar levels were also determined. The increment of the planting N dosis result in dry weight of aerial part and grain yield increases, but these effects are differentiated in each season. Increasing covering N dosis result in linear increase of the grain yield, independently of seasons. Seeds inoculation with BR 322 (CIAT 899) did not influence nodulation that by turn, was not affected by N dosis. The N dosis do not alter the foliar levels of macronutrients, except the Ca levels.

* Guindance committee: Messias José Bastos de Andrade - UFLA (Major professor), Fátima Maria de Souza Moreira - UFLA and Pedro Milanez de Rezende - UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) tem grande importância na alimentação humana, em função de suas características protéicas e energéticas. No Brasil, tem importância econômica e social, por ser responsável pelo suprimento de grande parte das necessidades nutricionais da população de baixa renda, e pelo grande número de pequenos produtores que se dedicam à cultura.

Um dos fatores mais limitantes à produtividade do feijoeiro é a baixa disponibilidade de nutrientes, sobretudo fósforo e nitrogênio, nos solos agrícolas brasileiros. A adição de nitrogênio na forma de fertilizantes é cara e, em muitos casos, ineficiente, principalmente devido às perdas do elemento causadas por práticas culturais inadequadas. Apesar disso, na busca de maiores produtividades são aplicadas enormes quantidades de fertilizantes nitrogenados a cada safra de feijão, muitas vezes equivalentes ou superiores a doses de 120 ou 150 kg.ha⁻¹ de N, com baixa eficiência e sérios riscos ao ambiente.

As leguminosas evoluíram obtendo nitrogênio da simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, os rizóbios. Essa simbiose é conhecida e explorada comercialmente há mais de cem anos, sendo a soja e os adubos verdes os exemplos de maior sucesso conhecidos. No caso da soja [*Glycine max* L.(Merril)], por exemplo, a prática de inoculação de sementes com estirpes eficientes de rizóbio elimina o emprego de fertilizantes nitrogenados na cultura, representando, conseqüentemente, grande redução no custo de produção e importante economia de divisas para o País. Estima-se que os gastos com fertilizantes nitrogenados nas lavouras brasileiras de feijão totalizam algo em torno dos 300 milhões de dólares (considerando-se 60 kg.ha⁻¹ de N, fonte sulfato

de amônio ou uréia), enquanto o emprego de inoculante (1 dose.ha⁻¹) equivaleria a um custo de apenas 5 milhões de dólares.

Apesar da inoculação no feijoeiro ser estudada há muitos anos, não foi possível ainda a sua incorporação ao processo de produção no Brasil, não existindo uma recomendação generalizada quanto ao seu uso, devido a uma extrema variabilidade de respostas quanto a produção de grãos e fixação biológica de nitrogênio (FBN) encontrada em vários experimentos de inoculação. Diversos fatores podem influenciar na eficiência da FBN, como cultivares de feijoeiro que tiveram o seu melhoramento direcionado para utilização de elevadas doses de nitrogênio, capacidade do feijoeiro nodular com diversas espécies de rizóbio (promiscuidade do feijoeiro), pequena competitividade dos rizóbios selecionados com os nativos, baixa resistência do rizóbio a elevadas temperaturas (uma vez que o sistema radicular do feijoeiro é bastante superficial), acidez dos solos e não coincidência entre os picos de maior exigência do feijoeiro em nitrogênio e a maior atividade do rizóbio, dentre outros.

A simbiose com o feijoeiro parece apresentar uma vantagem à soja, de ser mais tolerante aos fertilizantes nitrogenados. Desta forma, ensaios visando a compatibilidade da inoculação com adubação nitrogenada, de forma a reduzir os custos de produção desta cultura, mantendo os tetos de produção, são importantes.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a resposta do feijoeiro a diferentes doses de fertilizante nitrogenado aplicadas no plantio e em cobertura, na presença de inoculação das sementes com rizóbio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Nitrogênio (N)

Cerca de 80% da atmosfera são representados por N, na forma de N₂, sendo importante fonte desse nutriente. No solo, o N encontra-se quase todo na forma orgânica, sendo uma reduzida fração encontrada na forma mineral de nitratos e amônio (Rajj, 1991). Segundo Malavolta (1980), a mineralização (amonificação e nitrificação), lixiviação, desnitrificação, imobilização e fixação biológica são os processos que definem a disponibilidade de nitrogênio em um solo.

O N orgânico representa 97 a 98 % do N total do solo e é convertido a N inorgânico ou disponível através da mineralização decorrente da decomposição da matéria orgânica pela ação dos microorganismos do solo (Lopes, 1989). Através da mineralização os componentes orgânicos se transformam em formas inorgânicas em duas etapas: amonificação, onde há formação de NH₄⁺, e nitrificação, com formação de NO₂⁻ e, posteriormente, NO₃⁻ (Fassbender, 1975).

O nitrogênio faz parte da matéria prima para fabricar clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e outros compostos importantes no metabolismo da planta. Plantas com teores de nitrogênio abaixo de 1% em qualquer de suas partes e em qualquer fase de seu ciclo, são consideradas deficientes neste elemento (Oliveira & Thung, 1988).

O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro, seguido pelo potássio, cálcio, enxofre, magnésio e fósforo (Haag et al., 1967; Cobra Neto et al., 1971).

Alguns trabalhos procuraram determinar a absorção de nutrientes pelo feijoeiro em função da idade da planta, utilizando as cultivares Chumbinho (Gallo & Miyasaka, 1961; Haag et al., 1967), Roxinho (Cobra Neto et al., 1971)

e Carioca (Almeida & Bulisani, 1980). Estes trabalhos mostram que a curva de absorção de nitrogênio é semelhante àquela que descreve a acumulação de massa seca, ou seja, baixa absorção até aos 20 dias após a emergência, seguida por um acréscimo até alcançar um ponto máximo. Segundo Gallo & Miyasaka (1961), a absorção máxima de nitrogênio ($2,46 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$) ocorreu entre 33 e 44 dias após a emergência.

Em Minas Gerais, recomendam-se para o feijoeiro de 20 a $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N aplicados no plantio (junto ao fósforo e potássio) e 20 a $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N em cobertura, de acordo com o nível tecnológico adotado pelo agricultor. Recomenda-se que a adubação de cobertura, quando superior a $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, seja dividida em duas aplicações (Chagas et al., 1999). Nesta condição, o parcelamento melhora a assimilação pela planta e reduz as perdas, tornando mais racional o aproveitamento do fertilizante (Frizzone et al., 1985).

Levantamento realizado em 71 ensaios de campo com a cultura do feijão, em 30 municípios de Minas Gerais, indicou que em 61% deles, ou seja, em 43 ensaios, houve resposta positiva à aplicação do N (Vieira, 1998).

Avaliando quatro doses de N (0, 50, 100 e $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), parcelando 2/3 no plantio e o restante em cobertura, Texeira et al. (2000) obtiveram acréscimo linear no teor foliar de N, quando se elevou a dose do fertilizante nitrogenado. Acréscimo linear no rendimento de grãos do feijoeiro foi observado por Valério et al. (1999), quando elevaram a dose de N no plantio (0, 40, 80 e $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ou em cobertura (0, 30, 60 e $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Andrade et al. (1998b) observaram aumento linear no rendimento de grãos com o incremento da adubação nitrogenada no plantio, e acréscimo de 40% no rendimento de grãos quando utilizaram $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N em cobertura. Resultado altamente positivo com relação à adubação nitrogenada em cobertura (0, 40, 80 e $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi observado por Stone & Moreira (2001), os quais conseguiram aumento de 231% no rendimento de grãos, quando utilizaram a dose máxima da adubação.

Apesar de ter conseguido aumento de 77% na produção de grãos quando utilizaram 90 kg.ha⁻¹ de N em cobertura, Silva et al. (1999), não haviam encontrado em ensaios anteriores, resposta significativa para doses de N em cobertura. Arf et al. (1999), também não encontraram resposta significativa para doses de N em cobertura (0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 kg.ha⁻¹) e argumentaram que os 10 kg.ha⁻¹ de N aplicados no plantio, aliados à mineralização da matéria orgânica do solo e possível fixação simbiótica de N₂, podem ter suprido satisfatoriamente a demanda das plantas. Kuhn et al. (1998), avaliando o manejo da adubação nitrogenada e adubação foliar com molibdênio, observaram aumento de produtividade devido à adubação nitrogenada na semeadura, entretanto, a aplicação de N em cobertura não proporcionou aumentos significativos na ausência de N na semeadura e molibdênio foliar.

2.2 A fixação biológica de N₂ (FBN)

A FBN nas leguminosas consiste, essencialmente, na transformação biológica do nitrogênio atmosférico (N₂) em amônia (NH₃), principalmente por bactérias especializadas denominadas comumente por rizóbios. O rizóbio caracteriza-se pela capacidade de interação com o sistema radicular da planta hospedeira por meio do desenvolvimento de estrutura altamente especializada - o nódulo radicular, onde se processa a FBN. Esta interação caracteriza uma simbiose (ou, mais precisamente, uma interação mutualística), pois a bactéria se beneficia do suprimento de fotossintatos ou carbono orgânico fornecidos pela planta hospedeira, enquanto a planta recebe o nitrogênio fixado pelo rizóbio microssimbionte na forma amoniacal, assimilando-o em compostos nitrogenados que podem ser translocados para as suas diferentes partes (Cassini & Franco, 1998).

Como parte do N utilizado pela cultura provém naturalmente da fixação biológica realizada por bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, se o produtor não emprega alta tecnologia, a inoculação com rizóbio, muitas vezes, pode representar auxílio indispensável para a nutrição nitrogenada do feijoeiro (Vieira, 1998).

Nas leguminosas em geral, a prática de inoculação das sementes com estirpes adequadas de rizóbio tem apresentado bons resultados, aumentando a eficiência do sistema de fixação de nitrogênio. No feijoeiro, entretanto, este processo não tem sido difundido como prática corrente entre os produtores, pelo fato da simbiose apresentar alta sensibilidade às condições ambientais (Andrade & Ramalho, 1995) e, conseqüentemente, baixa previsibilidade.

A extraordinária diversidade genética e fisiológica encontrada no rizóbio do feijoeiro, no qual os limites entre as espécies das populações nativas não foram ainda definidos (Eardly et al., 1995), aliada à capacidade de nodulação da planta frente às diferentes espécies de rizóbio (promiscuidade do feijoeiro), vem evidenciar a elevada variabilidade de resposta à nodulação nos diversos cultivares de feijoeiro e pode explicar, em alguns pontos, a razão do insucesso da utilização de inoculantes rizobianos nessa cultura no campo (Cassini & Franco, 1998).

Existem três gêneros e nove espécies de rizóbio que nodulam o feijoeiro (Pereira et al., 1999): *Rhizobium leguminosarum* *bv. phaseoli*; *R. tropici*; *R. etli*; *R. giardinii* *bv. phaseoli*; *R. gallicum* *bv. phaseoli* e *R. mongolense*; *Sinorhizobium fredii*; *Mesorhizobium loti* e *M. huakuii*.

Araújo (1994) cita que foi observada abundante nodulação espontânea em plantas de feijão da cultivar Diamante Negro em Goiás, em um campo que fora pastagem por 40 anos antes da introdução do feijão. Isto confirma a baixa especificidade do feijoeiro em relação às exigências quanto ao seu microssimbionte e demonstra as dificuldades que o inoculante enfrenta ao ser

introduzido no solo. Os solos brasileiros são ricos em bactérias capazes de nodular o feijoeiro, mas que não passaram por um processo de seleção e não são, de um modo geral, eficientes. Contudo, como essas bactérias estão adaptadas aos solos, elas são muito competitivas, dificultando a introdução de estirpes mais eficientes (Hungria et al., 2001).

Em adição, a baixa competitividade do rizóbio do inoculante com estirpes nativas, a diversidade das cultivares de feijão utilizadas e o manejo inadequado de fertilizantes (principalmente nitrogenados) na cultura, tem concorrido para ampla variação e limitação da eficiência simbiótica do feijoeiro. A temperatura pode afetar a persistência dos rizóbios no próprio inoculante, como também pode influenciar a sobrevivência das células de rizóbios inoculados no solo, limitando, assim tanto a nodulação quanto a FBN (Cassini & Franco, 1998).

Conforme Oliveira et al. (1998), a dominância entre estirpes de rizóbio é diferenciada pela temperatura e pelo estágio de desenvolvimento da planta, sendo que quando se comparou estirpes de *Rhizobium tropici* com a população nativa de *Rhizobium* spp, foi verificado que a estirpe CIAT-899 se apresentou mais efetiva em temperaturas de 25°C, enquanto que a 35°C a população nativa foi mais efetiva. Segovia et al. (1991) observaram correlação positiva entre a elevação da temperatura do meio e a frequência de estirpes com perda de infectividade e a ocorrência de isolados com baixa infectividade no solo submetido a elevadas temperaturas.

Além da temperatura, vários fatores do solo influenciam a nodulação e a fixação biológica do nitrogênio. Entre eles, a toxicidade por alumínio e manganês, bem como as deficiências de cálcio, fósforo e micronutrientes, são prejudiciais à simbiose (Lovato et al., 1985 a e b).

A acidez do solo tem sido citada como um dos principais fatores limitantes à FBN, pois afeta o rizóbio, o hospedeiro e o próprio processo

simbiótico (Vargas & Graham, 1988; Taylor et al., 1991). Graham & Parker (1964), Munns (1968) e Franco (1981) afirmam que o período mais crítico da acidez no processo simbiótico ocorre durante os seus primeiros estádios, principalmente durante a colonização das raízes e o curvamento dos pêlos radiculares. O alumínio trocável, ou solúvel (Al^{3+}), interfere negativamente na sobrevivência do rizóbio no solo. Trabalhos têm mostrado que a ação negativa do alumínio se processa por meio da sua complexação com determinados componentes celulares, especialmente o DNA, causando inibição do crescimento e morte celular (Johnson & Wood, 1990; Flis et al., 1993).

2.3 Nutrição da planta x FBN

O estabelecimento eficiente da simbiose requer uma planta nutricionalmente equilibrada, ou seja, com disponibilidade adequada de micro e macronutrientes.

Entre os micronutrientes, Mo e Co tem marcada atuação no processo, devido atuarem nos sistemas enzimáticos da nitrogenase (complexo enzimático responsável diretamente pela transformação de N_2 em NH_3), nitrato redutase (enzima responsável por reduzir a concentração de NO_3^- no citoplasma das células da planta, onde em concentrações elevadas inibe a FBN) e cobalamina (Vitamina B_{12} ou coenzima constituinte da leghemoglobina, enzima responsável pelo transporte de O_2 para dentro do bacteróide). O cobalto, em quantidades extremamente baixas (0,25 a 2,0 $g \cdot ha^{-1}$), é essencial para microorganismos fixadores de nitrogênio (Vieira, 1998). Estudos conduzidos em Minas Gerais por Vieira et al. (1992), Amane et al. (1994) e Berger et al. (1996) mostraram que a utilização de até 90 $g \cdot ha^{-1}$ de Mo, aplicados por via foliar no feijoeiro, 14 a 28 dias após a emergência, aumentou significativamente a produção de grãos e o teor de nitrogênio nas folhas. Como o molibdênio é um dos componentes das enzimas nitrogenase e nitrato redutase, teve atuação direta sobre o processo de

fixação do nitrogênio (primeira enzima), e no aproveitamento do nitrato absorvido pelas plantas (segunda enzima), segundo Vieira et al. (1995).

Andrade et al. (1998a e 2001) estudaram a magnitude da resposta do feijoeiro à aplicação foliar do molibdênio (40 g de Mo.ha⁻¹), em relação a diferentes formas de aplicação de nitrogênio (sem N, N semeadura + N cobertura, inoculação com *Rhizobium* e inoculação + N cobertura). A interação N x Mo somente foi significativa para as características peso de cem grãos, índice de colheita e massa seca de flores + vagens. O molibdênio proporcionou a obtenção de plantas mais altas e com maior número de vagens, resultando em acréscimo de produtividade da ordem de 91% em relação à testemunha; este efeito foi superior ao do nitrogênio em cobertura (48%) e comparável ao acréscimo propiciado pelo tratamento N semeadura + N cobertura (93%).

Entretanto, resultados negativos também estão presentes na literatura Vieira et al. (1994), estudando rizóbio, molibdênio e cobalto na cultura do feijoeiro, não constataram efeito significativo dos tratamentos sobre a produção de grãos. Outros estudos realizados em Minas Gerais também não evidenciam efeito do Co (Barbosa Filho et al., 1979; Machado et al., 1979; Santos et al., 1979).

Dentre os macronutrientes, entretanto, o N é o que apresenta comportamento mais interessante em relação à FBN. Como regra geral, solos com níveis mais elevados de N tendem a reduzir tanto a nodulação quanto a eficiência da FBN (Cassini & Franco, 1998). No caso do feijoeiro, portanto, tanto a aplicação de elevadas doses de N no plantio, como alta disponibilidade de matéria orgânica, podem restringir seriamente os dois processos (Franco, 1995).

O nitrogênio é um nutriente cuja presença ou ausência afeta a simbiose de várias formas (Pereira, 1982). Em excesso, o N mineral pode causar redução da eficiência simbiótica, porém, quando em pequenas quantidades aplicadas na

cultura do feijão, permite um aumento no crescimento dos nódulos e maior fixação de nitrogênio, sendo que teores muito baixos de nitrato no solo também podem ser limitantes à atividade simbiótica (Franco & Döbereiner, 1968; Ruschel & Saito, 1977).

Considerando que a adição de doses elevadas de N (conforme tendência atual em lavouras irrigadas de alta produtividade) reduz a nodulação e a FBN e que a inoculação sozinha apenas pode fixar de 20 a 60 Kg.ha⁻¹ de N₂ em cada ciclo cultural (Tsai et al., 1993), fica fácil compreender sobre a necessidade de um bom manejo da adubação nitrogenada (plantio e cobertura) para se conseguir resultados satisfatórios.

Elevada eficiência simbiótica é, há muito tempo, associada a meio pobre em nitrogênio (Nutman, 1956), da mesma forma que altos níveis de N mineral reduzem o número de nódulos e a fixação simbiótica (Allos & Bartholomew, 1955). Trabalhos mais recentes demonstram respostas positivas da fixação simbiótica quando fornecidas doses baixas de nitrogênio mineral. Tsai et al. (1993), por exemplo, observaram que a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio pelo feijoeiro responderam positivamente ao aumento dos teores de P, K e S do solo, e que quando o feijoeiro recebeu um balanço adequado de nutrientes não houve inibição, mas sim um efeito sinérgico da adubação nitrogenada sobre a nodulação e fixação do nitrogênio. Silva et al. (1993) observaram que a aplicação do nitrogênio via foliar no feijoeiro inoculado foi menos supressiva que a aplicação ao solo e obtiveram aumento significativo na nodulação e atividade da nitrogenase com esse tratamento.

Camargo (1998), avaliando o comportamento de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) diante da inoculação com a estirpe CM 255 de *Rhizobium tropici* e da adubação nitrogenada em cobertura, verificou que apesar da adição de nitrogênio aumentar significativamente a produção de grãos, a inoculação com *Rhizobium* não alterou o teor de nitrogênio nas folhas e grãos.

Vários experimentos de inoculação têm sido realizados em rede nacional coordenada pela EMBRAPA (CNPAP), visando à recomendação de estirpes de rizóbios para o feijoeiro. Os resultados têm mostrado uma extrema variabilidade da produção e da FBN, o que não tem permitido uma recomendação segura dessas estirpes para utilização no inoculante de feijão (Hungria & Araújo, 1994).

2.4 Absorção e teores foliares de nutrientes

Como já mencionado no item 2.1, a absorção e o acúmulo de nutrientes pelo feijoeiro seguem as curvas de crescimento da massa seca total, atingindo um máximo no final do florescimento, quando se inicia a queda de folhas.

A adubação, notadamente a nitrogenada, interfere na quantidade de massa seca produzida (Gallo & Miyasaka, 1961).

Rosolem & Marubayashi (1994) citam que nos primeiros 50 dias o feijoeiro absorve de 2,0 a 2,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ de N. Rosolem (1987) relata que a planta absorve em média 1,69 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ de K na época da diferenciação floral e 3,29 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ de K no período entre o final do florescimento e início da formação de vagens. Esse mesmo autor cita ainda que a época de maior absorção de P ocorre entre 30 e 55 dias, sendo a demanda mais acentuada no início da formação de vagens (45-55 dias), quando o feijoeiro absorve cerca de 0,21 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ de P. As máximas absorções de Ca, Mg e S ocorrem entre as fases de formação dos botões florais até o início da formação das vagens, e nesse período a demanda atinge valores de 1,27 a 1,52 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ de Ca, 0,5 a 1,0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ de Mg e de 0,3 a 0,8 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ de S.

Malavolta & Lima Filho (1997) citam que enchimento de grãos do feijoeiro deve ocorrer em parte pela redistribuição do conteúdo de nitrogênio, fósforo e potássio existentes nas folhas, cujo teor diminui após o enchimento de grãos. O mesmo ocorre, de forma surpreendente, com o Ca, em geral tido como

imóvel no floema. Já os teores foliares de magnésio e enxofre não variam substancialmente.

Oliveira & Thung (1988) observam que apesar da necessidade de conhecer as condições de condução da cultura do feijoeiro, e em especial da cultivar plantada, para se obter produtividade da ordem de 1500 kg.ha^{-1} de grãos, são necessários cerca de 46 kg.ha^{-1} de N, 9 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , 20 kg.ha^{-1} de K_2O , 8 kg.ha^{-1} de CaO e $7,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ de S.

Segundo Malavolta et al. (1997), para cada nutrientes em particular podem ser definidos níveis foliares críticos inferior (abaixo do qual a produção diminui) e superior (acima do qual há toxidez ou desequilíbrio).

Os níveis críticos internos para o desenvolvimento do feijoeiro, propostos por Wilcox & Fageria (1976), correspondem a concentrações foliares que variam de $28,0$ a $60,0 \text{ g.kg}^{-1}$ de N; $2,5$ a $5,0 \text{ g.kg}^{-1}$ de P; $18,0$ a $50,0 \text{ g.kg}^{-1}$ de K; $8,0$ a $30,0 \text{ g.kg}^{-1}$ de Ca e $2,5$ a $7,0 \text{ g.kg}^{-1}$ de Mg e S.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, clima e solo

Foram conduzidos três experimentos de campo nas safras de inverno-primavera 2000, águas 2000/2001 e seca 2001, no campo experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O município de Lavras está situado na região sul de Minas Gerais, a 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste (Brasil, 1992), com topografia caracterizada pela dominância de relevo colinoso e níveis altimétricos compreendidos entre 822 e 1249 m em relação ao nível do mar (SEBRAE, 1998).

O clima do Município de Lavras, segundo a classificação internacional de Köppen, se encontra no limite entre Cwb e Cwa, caracterizando clima temperado a temperado subtropical, com inverno seco (Lavras, 1993). A temperatura média do mês mais quente é de 26,1°C e a do mês mais frio, de 14,8°C, sendo a temperatura média anual de 19,4°C. A precipitação total anual é de 1529,7 mm, com cerca de 70% desse total concentrados de novembro a março. A evaporação total anual é 1034,3mm e a umidade relativa média anual, 76,2% (Brasil, 1992). As principais ocorrências climáticas durante a condução dos ensaios são apresentadas na Figura 1.

Os experimentos foram conduzidos em glebas distintas, em um Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 1999), originalmente sob cerrado. As semeaduras ocorreram em 28/07/2000, 01/12/2000 e 09/03/2001 sendo as colheitas realizadas em 27/10/2000, 15/02/2001 e 11/06/2001, respectivamente. As análises químicas de amostras dessas glebas, à profundidade de 0-20 cm, forneceram os resultados apresentados na Tabela 1.

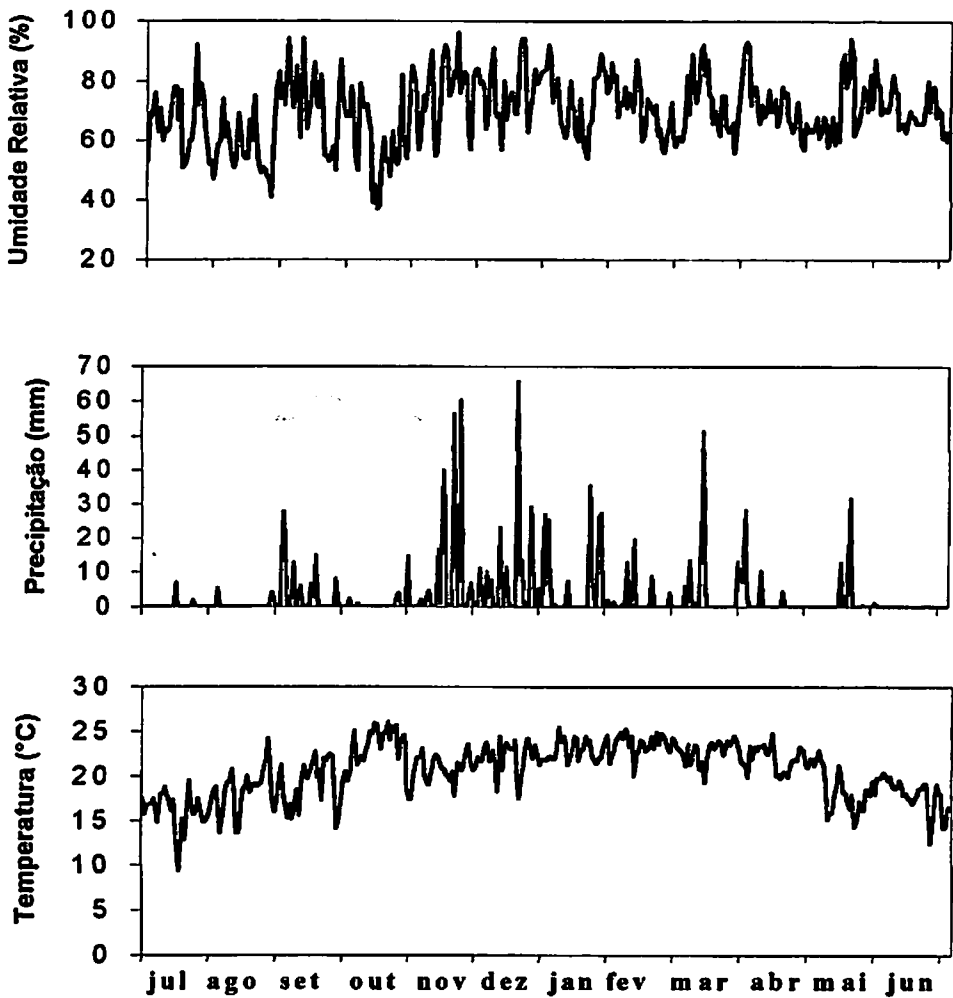


FIGURA 1. Representação gráfica da variação diária da temperatura média, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, no período de julho de 2000 a junho de 2001 (Dados fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras-MG, situada no “campus da UFLA, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET).

TABELA 1 - Resultados da análise química de amostras (0 a 20 cm de profundidade) dos solos utilizados nos experimentos. UFLA, Lavras-MG, 2000/01.⁽¹⁾

Elementos e unidades	Safras		
	Inverno 2000	Águas 2000/01	Seca 2001
pH em H ₂ O (1:2,5)	5,6 AcM	5,8 AcM	5,9 AcM
P (mg.dm ⁻³)	9,0 M	7,0 Ba	5,0 Ba
K (mg.dm ⁻³)	98,0 Bo	80,0 Bo	114,0 Bo
Ca trocável (cmol _c .dm ⁻³)	3,6 Bo	3,6 Bo	3,3 Bo
Mg trocável (cmol _c .dm ⁻³)	1,0 Bo	0,6 M	0,9 M
Al trocável (cmol _c .dm ⁻³)	0,0 Mba	0,0 Mba	0,0 Mba
H + Al (cmol _c .dm ⁻³)	3,6 M	3,0 M	2,6 M
S.B. (cmol _c .dm ⁻³)	4,9 Bo	4,4 Bo	4,5 Bo
t (cmol _c .dm ⁻³)	4,9 Bo	4,4 M	4,5 M
T (cmol _c .dm ⁻³)	8,5 M	7,6 M	7,1 M
m (%)	0,0 Mba	0,0 Mba	0,0 Mba
V (%)	57,4 M	58,2 M	63,3 Bo
Matéria orgânica (dag.kg ⁻¹)	3,4 M	3,4 M	3,5 M

⁽¹⁾Análises realizadas pelos Laboratórios do Departamento de Ciências do Solo da UFLA e interpretação de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999). AcM=acidez média, AcF=acidez fraca, AcE=acidez elevada, Bo=teor bom, M=teor médio, Ba=teor baixo, Mba=teor muito baixo.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial (4 x 4) + 2, totalizando 18 tratamentos e 54 parcelas. Os tratamentos do fatorial, todos inoculados, envolveram quatro doses de nitrogênio no plantio (0, 15, 30 e 45 kg.ha⁻¹ de N) e quatro doses de nitrogênio em cobertura (0, 15, 30 e 45 kg.ha⁻¹ de N). Utilizou-se essas doses de N no plantio e em cobertura, no intuito de obter a combinação que permitisse o maior aproveitamento do N fixado pelo rizóbio. Os

dois tratamentos adicionais, não inoculados, foram: 1) não aplicação de nitrogênio e 2) adubação nitrogenada mineral. Ambos sem inoculação.

No tratamento adicional com nitrogênio foi aplicada a dose de $45 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N, tanto no plantio como em cobertura. As coberturas nitrogenadas foram realizadas aos 16, 25 e 20 dias após a emergência, respectivamente, nos ensaios de inverno-primavera, águas e seca. As adubações com fósforo e potássio foram realizadas de acordo com a análise de solo e atuais recomendações em Minas Gerais (Chagas et al., 1999), adotando-se o Nível Tecnológico 3, o qual inclui calagem, adubação, sementes fiscalizadas, 220 mil a 240 mil plantas. ha^{-1} , controle fitossanitário, tratamento de sementes, herbicidas e irrigação, com produtividade esperada de 1.800 a 2.500 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Foram empregados $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 (fonte superfosfato simples) e $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K_2O (fonte cloreto de potássio). A fonte de N foi sempre uréia.

3.3 Implantação e condução dos experimentos

O preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens leves. Antes da semeadura realizou-se o sulcamento e demarcação das parcelas. Cada parcela foi constituída de 4 fileiras de 5m de comprimento espaçadas de 0,50 m, perfazendo 10 m^2 de área total e 5 m^2 de área útil (duas fileiras centrais). Os adubos foram aplicados no sulco, de acordo com os tratamentos, e misturados com o solo a 4-6 cm de profundidade.

As sementes foram inoculadas e semeadas num intervalo de duas a três horas após a inoculação, na densidade de 15 a 17 sementes por metro de sulco. Utilizou-se inoculante turfoso produzido pelo Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Lavras, com emprego da estirpe BR322 (originalmente CIAT 899) de *Rhizobium tropici*, fornecida pelo Centro Nacional de Pesquisa em Biologia do Solo. A proporção foi de 300 g de inoculante para cada 25 kg de sementes.

O inoculante foi produzido a partir de turfa esterilizada em autoclave e meio YMA (Vicent, 1970) semi – sólido após três dias de crescimento a 28°C, na proporção de 3:1 de turfa e meio de cultura, obtendo-se aproximadamente 10⁸ células.g⁻¹ de inoculante.

Foram utilizadas sementes da linhagem CII – 102, oriunda do Programa de Melhoramento Genético do Feijoeiro da UFLA. As suas sementes são do tipo comercial carioca, ou seja, de cor creme com estrias marrons. Possui hábito de crescimento III (indeterminado prostrado), ciclo normal e resistência à raça 89 de *Colletotrichum lindemuthianum* e ao mosaico dourado (Ramalho, M.A.P. – informação pessoal*)

Os experimentos foram mantidos livres de invasoras através de capinas manuais. Nas safras de inverno-primavera e águas foram realizadas duas capinas, enquanto na da seca, apenas uma. Nesta safra, houve infestação de cigarrinha verde (*Empoasca kraemeri*), controlada com aplicação do inseticida Nuvacron 400 na dosagem de 1L.ha⁻¹ do produto comercial. Houve necessidade de controle de formigas nas safras de inverno-primavera e águas. Na safra das águas ocorreu ainda ataque de fungos de solo (*Rhizoctonia solani* e *Fusarium solani*), sem que nenhuma medida de controle fosse tomada.

A safra de inverno-primavera foi conduzida sob irrigação por aspersão convencional, realizando-se duas irrigações semanais até que a cultura atingiu o ponto de maturidade fisiológica dos grãos. A safra das águas não foi irrigada, e a da seca teve irrigações complementares, também por aspersão convencional.

*Prof. Dr. Magno Antônio Patto Ramalho, Depto. de Biologia da UFLA.

3.4 Características avaliadas

Quinze dias após a emergência das plântulas, foi feita a contagem do número total de plantas da área útil de cada parcela, determinando-se o estande inicial, expresso em plantas por 5 m².

Por ocasião do florescimento, quando pelo menos 50% das plantas se encontravam em plena floração (estádio R6) foram coletadas quatro plantas (raiz e parte aérea) nas linhas centrais de cada parcela, para se avaliar a massa seca da parte aérea e a nodulação.

Logo após a coleta da parte aérea, as plantas foram colocadas em sacos de papel e levadas a estufas de circulação forçada à temperatura de 70-72 °C, até atingirem peso constante. Depois as amostras foram pesadas, retirando-se as folhas para moagem. Na safra de inverno-primavera foram avaliados os teores de macronutrientes nas folhas de feijoeiro, determinados quimicamente como se segue: N pelo método Kjeldahl; P, K, Ca, Mg, S, através da digestão com ácidos nítrico e perclórico e determinados no extrato (P - colorimetria, K - fotometria de chama, S - turbidimetria, Ca, Mg, - espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com Malavolta, et al. (1997).

O sistema radicular, coletado junto a um bloco de solo através de pá reta, foi lavado em água corrente sobre peneira de malha fina, onde se coletaram os nódulos, os quais foram avaliados visualmente nas três safras, através da escala arbitrária de notas de 1 a 5, conforme Tabela 2.

Por ocasião da colheita (estádio R9) foram avaliados o estande final e o rendimento de grãos. O estande final foi determinado pela contagem das plantas totais na área útil. O rendimento foi obtido após a trilha manual das plantas das linhas úteis da parcela, sendo o resultado expresso em kg.ha⁻¹, já corrigido para 13% de umidade através da expressão $P = Pt(100-Ut) / 87$, em que:

P = peso dos grãos corrigido; Pt = peso após a trilha, Ut = umidade após a trilha.

TABELA 2. Escala arbitrária de notas atribuídas ao número e tamanho de nódulos radiculares do feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.

Notas	Quantidade nódulos	Notas	Tamanho de nódulos*
1	Pouquíssimos	1	P
2	Poucos	2	P + M
3	Quantidade Média	3	M, P + G ou P + M + G
4	Muitos	4	M + G
5	Muitíssimos	5	G

*P= nódulos pequenos, M= nódulos médios e G= nódulos grandes

3.5 Análise estatística

Os dados das três safras foram submetidos à análise de variância individual por experimento de acordo com esquema de análise de variância para experimentos fatoriais com tratamentos adicionais adaptado de Gomes (2000) e Yassin (2001). Após verificada a não heterogeneidade das variâncias residuais realizaram-se análises conjunta envolvendo as três safras. As análises estatísticas foram realizadas com emprego do sistema de análise estatística **SISVAR**, versão 3.01 (Ferreira, 2000). Os efeitos de safras, quando significativos, foram comparados pelo teste de Tukey e, nos casos de significância para os fatores quantitativos, foram realizadas análises de regressão, representando-se graficamente os valores estimados e suas respectivas equações. Os tratamentos adicionais foram avaliados usando-se os seguintes contrastes de interesse:

1. Comparar o efeito da inoculação na ausência de adubação nitrogenada, ou seja, Y_1 : 0 de N sem inoculante vs 0 de N com inoculante;
2. Na presença das doses de N de 45 kg.ha^{-1} no plantio + 45 kg.ha^{-1} em cobertura comparar-se o efeito da inoculação no tratamento com as maiores adubações utilizadas, ou seja, Y_2 : 45 + 45 sem inoculante vs 45 + 45 com inoculante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características agronômicas

Um resumo da análise de variância conjunta (três safras) é apresentado na Tabela 3. Observa-se que foi boa a precisão experimental com que foram estimadas as características avaliadas, revelando coeficientes de variação semelhantes aos normalmente obtidos na região com a cultura (Abreu et al., 1994).

A Tabela 3 revela ainda que, o fator safra (S) influenciou significativamente todas as características. As doses de N no plantio (P) tiveram efeito significativo sobre o estande final, massa seca da parte aérea e rendimento de grãos, mas este efeito foi influenciado pelas safras. As doses de N em cobertura (C) afetaram o rendimento de grãos e, a massa seca da parte aérea foi influenciada pela interação N em cobertura vs safras. A interação dupla P x C e a interação tripla S x P x C não foram significativas.

Com relação aos contrastes, apenas constatou-se significância no caso do estande inicial, ao se comparar a dose máxima de N do fatorial, inoculada, com o tratamento adicional 2, dose máxima de N e sem inoculação, evidenciando que o uso da inoculação não apresentou o mesmo comportamento nas três safras (Tabelas 3 e 5).

Os valores médios das características agronômicas obtidas após a realização da análise conjunta em função das safras, doses de N mineral no plantio, doses de N mineral em cobertura e tratamentos adicionais estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 3. Resumo (quadrados médios) da análise de variância conjunta (três safras) dos dados relativos às características agrônômicas, UFLA, Lavras-MG, 2000/01.

Fontes de variação		GL			Quadrados Médios		
		Estande	Estande	Massa Seca da	Rendimento		
		Inicial	Final	Parte Aérea	Grãos		
Repetição d/ Safra		6	195,0123	156,5432	5,5161	462201,20	
Safra (S)		2	1264,6852**	6951,6728**	418,4111**	39084464,39**	
Nitrogênio plantio (P)		3	52,9352	790,8333**	41,7698**	1002406,41**	
Nitrogênio cobertura (C)		3	65,6574	217,1296	3,1772	714941,54**	
P x C		9	72,2438	148,4321	2,5931	98852,30	
S x P		6	84,4282	794,8403**	12,2973**	490344,94**	
S x C		6	21,9838	60,7199	7,6921*	160451,37	
S x P x C		18	72,6350	125,0316	2,2098	27168,06	
Inoc. na dose 0 d/ Safra x Adicional 1 d/ Safra		3	118,1111	283,6111	2,0100	119479,00	
Inoc. na dose 45+45 d/ Safra x Adicional 2 d/ Safra		3	217,3889**	112,6110	7,2600	48524,78	
Erro		102	53,5744	115,8831	2,9779	77316,60	
			4,97	8,17	26,79	17,96	

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.
 ** Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 4. Valores médios das características agrônômicas da linhagem CII-102 de feijoeiro, em função das safras, das doses de N aplicadas no plantio e em cobertura, e dos tratamentos adicionais. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001⁽¹⁾.

Fatores	Estande Inicial (5m ²)	Estande Final (5m ²)	M. Seca P. Aérea (g.planta ⁻¹)	Rendimento (kg.ha ⁻¹)
Safras⁽¹⁾				
Inverno	142 b	132 b	8,63	1663
Águas	149 a	122 c	3,08	674
Seca	153 a	145 a	7,61	2338
N plantio (kg.ha⁻¹)				
0	148	126	5,04	1355
15	149	134	6,25	1492
30	147	135	7,58	1717
45	147	136	6,89	1670
N cobertura (kg.ha⁻¹)				
0	148	134	6,07	1389
15	150	136	6,36	1513
30	148	133	6,77	1610
45	146	130	6,56	1720
Média Fatorial	148	133	6,44	1558
Adicionais (sem inoculante)				
Testemunha	142	117	5,00	1311
45 + 45 kg.ha ⁻¹ de N	143	126	7,16	1631
Média Geral	147	131	6,37	1541

⁽¹⁾ Em cada coluna, médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

4.1.1 Estande Inicial

Os estandes iniciais nas safras das águas e seca não diferiram e foram superiores ao do inverno (Tabela 4). Rodrigues (2001) estudando cultivares e níveis de adubação N e P no feijoeiro em três safras, obteve resultados

semelhantes. Esse menor estande inicial constatado na safra de inverno é comum na região, face às baixas temperaturas no período (Andrade, 1998 b).

A adubação nitrogenada, mesmo no plantio, não afetou o estande inicial (Tabela 3), o que pode ser visto pelos valores da Tabela 4, bastante próximos. No caso da adubação nitrogenada em cobertura, este efeito não era mesmo esperado, por razões óbvias. Entretanto, a proximidade das médias também permite inferir que o N aplicado no plantio não teve se quer tendência de prejudicar a germinação e a emergência, como detectou Rodrigues (2001). Com certeza, as altas doses utilizadas por este último autor explicam as diferenças de resultado.

O desdobramento do contraste que se mostrou significativo em relação ao estande inicial é apresentado na Tabela 5. Note-se que apesar das diferenças entre inoculado e não inoculado terem se mostrado significativas nas águas e na seca, elas não foram consistentes. Além do mais, quando se compara as médias das três safras (Tabela 5), elas não diferem.

TABELA 5. Valores médios do estande inicial do feijoeiro na presença das maiores doses de N, com e sem inoculação. UFLA, Lavras MG, 2000/01⁽¹⁾.

Safra	45 + 45 kg.ha ⁻¹ de N inoculado	45 + 45 kg.ha ⁻¹ de N não inoculado
Inverno	144 a	145 a
Águas	132 b	146 a
Seca	155 a	139 b
Médias	144 a	143 a

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais nas linhas, não diferem pelo teste F (5%).

4.1.2 Estande Final

O estande final apresentou tendência de acompanhar o comportamento do estande inicial, exceto na safra das águas (Tabela 4). Nesta safra, apesar do estande inicial superior, o estande final foi o menor observado (cerca de 12 plantas.m⁻¹), o que, com certeza, está relacionado com a incidência de fungos de solo (*Fusarium solani* e *Rhizoctonia solani*) que reduziram a sobrevivência das plantas.

As doses de N em cobertura não influenciaram o estande final, mas esta variável foi significativamente afetada pelas doses de N no plantio (Tabela 3), mais precisamente na safra das águas (Figura 2), quando o incremento da dose de N no plantio elevou de maneira quadrática o estande final até atingir um ponto de máximo, na dose correspondente a 33,9 kg.ha⁻¹ de N correspondendo a 266.400 plantas.ha⁻¹. É provável que as doses crescentes de N tenham elevado os teores de N no solo e nas plantas, tomando-as mais tolerantes ao ataque fúngico. A redução do estande final iniciada a partir do ponto de máximo pode ser consequência das condições mais favoráveis aos fungos de solo, resultantes do maior crescimento vegetativo.

Nas safras da seca e do inverno os estandes finais foram mais elevados (13 a 15 plantas.m⁻¹) e não sofreram com o estresse das enfermidades de solo, o que pode ter contribuído para não haver efeito significativo das doses de N no plantio.

4.1.3 Massa Seca da Parte Aérea

Como já mencionado, o crescimento vegetativo da parte aérea do feijoeiro foi influenciado pelas doses de N no plantio, mas este efeito variou bastante em cada uma das safras (Tabela 3 e Figura 3). Na safra das águas, devido ao ataque de fungos de solo, as plantas sobreviventes apresentaram

menor crescimento, com reduzido peso da massa seca (Tabela 4); talvez por esta razão, o efeito das crescentes doses de N tenha sido linear, indicando que espera-se um aumento médio de $0,0556 \text{ g.planta}^{-1}$ na massa seca da parte aérea para cada unidade (kg.ha^{-1}) que se adiciona na adubação de plantio. Na safra de inverno primavera o crescimento vegetativo dos feijoeiros foi bem maior (Tabela 4) e o efeito das doses de N foi quadrático (Figura 3), alcançando ponto de máximo na dose correspondente a $30,9 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N no plantio, que permite estimar uma quantidade de $10,26 \text{ g.planta}^{-1}$ de massa seca da parte aérea. Na safra da seca, entretanto, o efeito das doses de N no plantio não se mostrou consistente, havendo ajuste a um modelo cúbico (Figura 3).

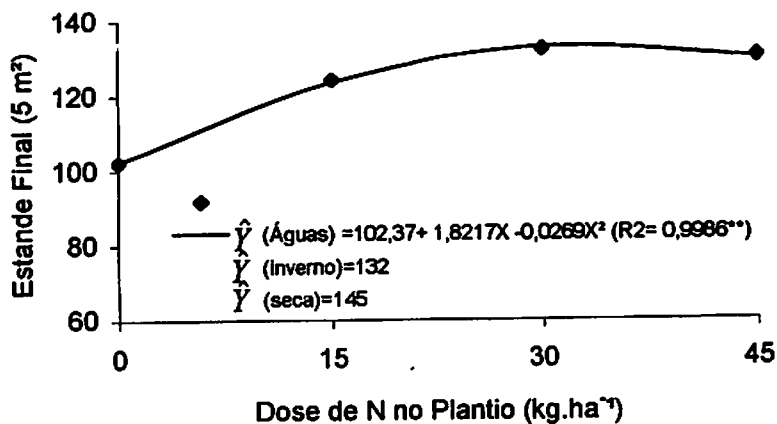


FIGURA 2. Representação gráfica e equações de regressão para o estande final do feijoeiro em função das doses de N aplicadas no plantio nas três safras. UFLA, Lavras-MG, 2000/01.

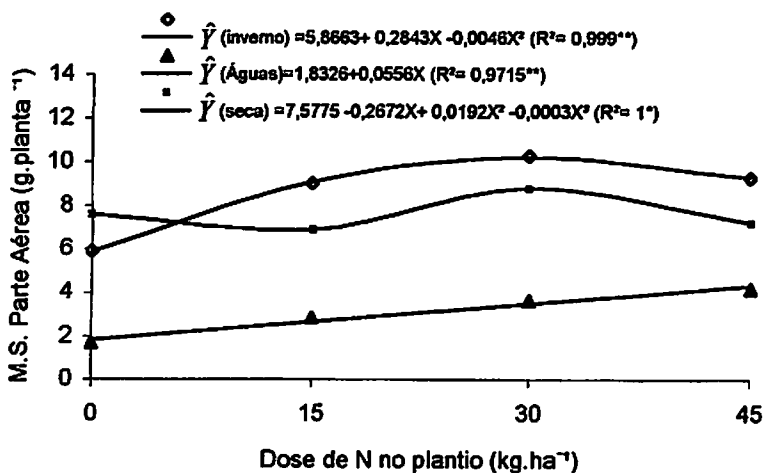


FIGURA 3. Representação gráfica e equações de regressão para a massa seca da parte aérea do feijoeiro em função de doses de N no plantio para as três safras. UFLA, Lavras-MG, 2000/01.

As doses de N em cobertura influenciaram a massa seca da parte aérea dos feijoeiros através da sua interação com as safras (Tabela 3). O desdobramento desta interação, entretanto, apenas detectou efeito significativo da cobertura nitrogenada na safra de inverno, quando houve crescimento linear da massa seca da parte aérea com o incremento das doses de N aplicados em cobertura (Figura 4). Para esta safra, espera-se um aumento médio de 0,0419 g.planta⁻¹ para cada unidade de adubação nitrogenada que se adicionar em cobertura. De certa forma, este resultado mostra coerência com os de outros trabalhos (Texeira et al., 2000; Rodrigues, 2001), no que diz respeito a uma maior resposta à adubação nitrogenada na safra de inverno, garantida principalmente pela boa disponibilidade de água através da irrigação.

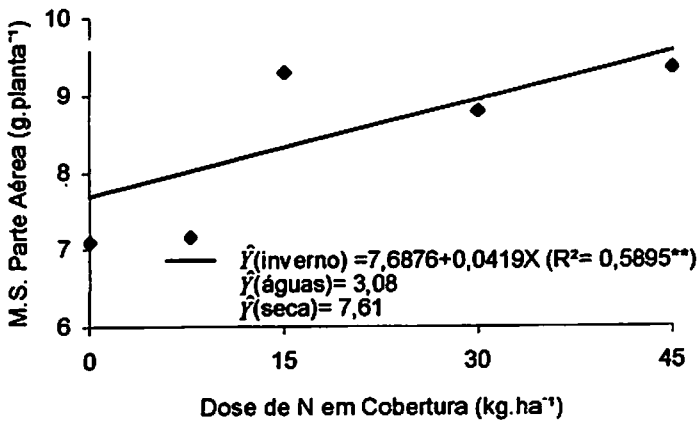


FIGURA 4. Representação gráfica e equações de regressão da massa seca da parte aérea do feijoeiro em função de doses de N em cobertura na safra de inverno. UFLA, Lavras-MG, 2000.

4.1.4 Rendimento de Grãos

O comportamento do rendimento de grãos em relação às doses de N no plantio foi semelhante ao ocorrido com a massa seca da parte aérea, ou seja, o efeito das doses de N não foi o mesmo nas três safras.

Nas águas, o rendimento médio de grãos foi o mais baixo obtido dentre as três safras estudadas. Apesar deste rendimento (674 kg.ha⁻¹, Tabela 4) situar-se próximo à média estadual da safra (Santos & Braga, 1998), ele foi bastante inferior ao que vem sendo conseguido pela pesquisa ou em lavouras de alta tecnologia. No presente estudo, a ocorrência de fungos de solo (*Rhizoctonia solani* e *Fusarium solani*) contribuiu sobremaneira para a baixa produtividade obtida. Da mesma forma, o estresse sofrido pelas plantas pode ter favorecido a resposta às doses de N no plantio, que nesta safra foi linear (Figura 5), sendo possível estimar um acréscimo de 11,3 kg.ha⁻¹ de grãos para cada quilograma de N aplicado no plantio.

No inverno-primavera, a produtividade média obtida ($1663 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, Tabela 4) também situou-se próximo da média estadual dessa safra citada por Santos & Braga (1998). As condições ambientais foram superiores, ou seja umidade relativa e temperatura mais baixas e menor precipitação (Figura 1), condições essas que não permitiu o desenvolvimento de fungos de solo como ocorreu na safra das águas, e isso resultou em rendimento médio superior ao das águas. A resposta às doses de N, entretanto, foi de natureza quadrática (Figura 5), atingindo um rendimento máximo de $1870 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na dose correspondente a $36,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N.

Na safra da seca o efeito das doses de N no plantio não se mostrou consistente, ajustando-se um modelo cúbico (Figura 5) com um decréscimo de rendimento na dose de $15 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em relação a ausência de adubação, seguido de um aumento no rendimento na dose de $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nesta safra o ambiente mostrou-se extraordinariamente favorável à cultura, mas a ocorrência de chuva de grande intensidade logo após a semeadura (Figura 1) pode ter lixiviado grande parte do N aplicado no plantio, reduzindo a possibilidade de resposta. Outro fator que teria possibilidade de reduzir a resposta à adubação nitrogenada de plantio, seria a mineralização da matéria orgânica. Como o solo estava em pousio há vários anos e a massa vegetal era exuberante, o processo de mineralização pode ter sido intensificado. Mesmo com a baixa resposta ao N mineral aplicado no plantio, o rendimento de grãos foi excelente ($2338 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, Tabela 4), bem acima da média estadual desta safra, que é da ordem de 600 a $700 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Santos & Braga, 1998).

Esta diversidade de respostas à adubação nitrogenada no plantio, entretanto, parece ser comum, conforme constatou Rosolem (1996), em levantamento realizado em grande número de pesquisas em que se utilizaram doses de 30 até $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N. Além das doses, as condições de clima e solo influenciaram de forma direta as respostas.

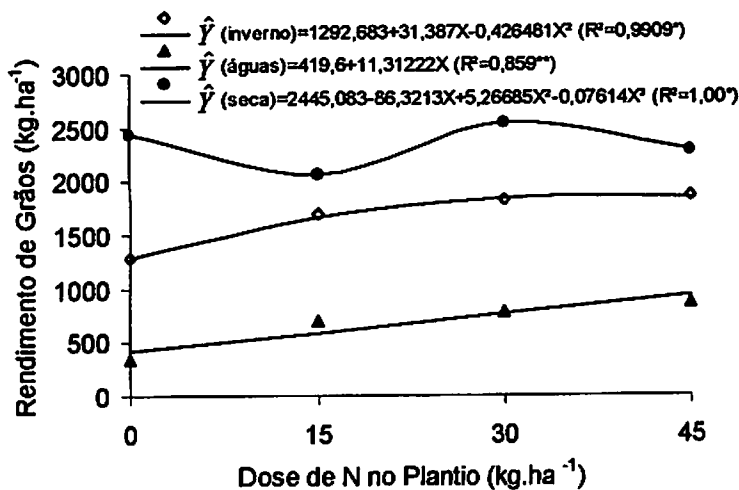


FIGURA 5. Representação gráfica e equações de regressão do rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de N no plantio, nas três safras. UFLA, Lavras-MG, 2000/01.

Ao contrário do que ocorreu com o N no plantio, a resposta do rendimento de grãos às doses de N em cobertura foi bem consistente e independente de safras (Figura 6). O modelo linear ajustado permite estimar um acréscimo médio de 7,3 kg.ha⁻¹ no rendimento de grãos para cada quilograma de N adicionado em cobertura, de tal forma que na maior dosagem (45 kg.ha⁻¹ de N) o acréscimo de rendimento devido à cobertura nitrogenada foi de 327 kg.ha⁻¹, ou seja, cerca de 5,5 sacos de feijão.ha⁻¹.

4.2 Nodulação radicular

Um resumo da análise de variância das características relacionadas à nodulação presente nas raízes dos feijoeiros é apresentado na Tabela 6. Observa-se que a fonte de variação safras foi significativa em relação a ambas as características, número e tamanho dos nódulos, e que para esta última, também a

interação safras x N plantio x N cobertura foi significativa, indicando um comportamento diferenciado das adubações nas três safras.

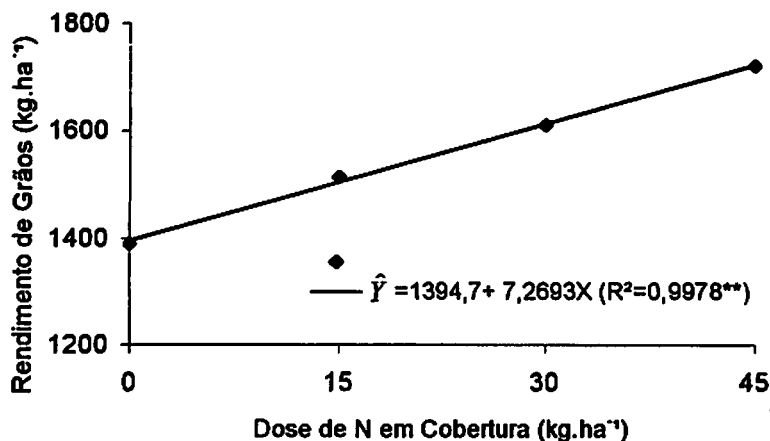


FIGURA 6. Representação gráfica e equações de regressão do rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de N em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 2000/01.

O número de nódulos radiculares no feijoeiro variou de safra para safra, como pode ser observado na Tabela 7. O número de nódulos foi superior na safra do inverno e inferior nas águas, apresentando-se intermediário na seca (Tabela 7). Este resultado pode expressar a importante influência da temperatura na nodulação. Com base em resultados de vários autores, Cassini & Franco (1998) relatam que o principal efeito das altas temperaturas, mesmo em se tratando de *Rhizobium tropici*, mais persistente naquelas condições, é a perda de infectividade e capacidade de nodulação. Provavelmente a maior temperatura na safra das águas limitou o número de nódulos. Deve ser lembrado ainda que na safra das águas houve perda de estande devido à ocorrência de fungos de solo (*Rhizoctonia solani* e *Fusarium solani*), os quais também podem ter influenciado

negativamente a infecção e/ou nodulação, já que o rizóbio inoculado é muito pouco competitivo com outros microorganismos do solo e também porque a simbiose mutualística que se estabelece com a FBN requer uma planta sadia e nutricionalmente bem equilibrada.

TABELA 6. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos dados relacionados à nodulação radicular dos feijoeiros. UFLA, Lavras – MG, 2000/2001.

Fontes de variação	GL	Número Nódulos	Tamanho Nódulos
Repetição d/ Safra	6	0,3403	3,2014
Safra (S)	2	4,1944**	3,2708**
Nitrogênio plantio (P)	3	1,4074	0,7477
Nitrogênio cobertura (C)	3	1,7963	0,6366
P x C	9	1,1914	0,7600
S x P	6	1,4907	0,6227
S x C	6	0,3519	0,2894
S x P x C	18	1,1173	1,3202**
Inoc. na dose 0 d/ Safra x Adicional 1 d/ Safra	3	0,6667	1,5000
Inoc. na dose 45+45 d/ Safra x Adicional 2 d/ Safra	3	1,3333	0,0556
Erro	102	0,8116	0,5748
CV(%)		40,30	39,06

** Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Apesar dessas constatações e da significância na análise de variância (Tabela 6), o tamanho dos nódulos radiculares parecem não ter sido afetado pelas épocas de semeadura (Tabela 7).

As doses de N aplicadas no plantio e em cobertura não influenciaram o número de nódulos, apresentando médias muito próximas (Tabela 7). Camargo (1998) e Amane (1997) também não encontraram efeito significativo da adubação nitrogenada sobre a nodulação.

TABELA 7. Valores médios das notas (escala de 1 a 5) atribuídas ao número e tamanho de nódulos radiculares do feijoeiro. UFLA, Lavras – MG, 2000/2001.

Fatores	Número	Tamanho
Safras⁽¹⁾		
Inverno	2,46 a	2,15
Águas	1,87 b	1,63
Seca	2,25 ab	1,92
N plantio (kg.ha⁻¹)		
0	1,92	1,83
15	2,36	2,11
30	2,19	1,83
45	2,31	1,81
N cobertura (kg.há⁻¹)		
0	2,42	2,06
15	2,28	1,75
30	2,19	1,94
45	1,89	1,83
Média Fatorial	2,20	1,90
Adicionais (sem inoculante)		
Testemunha	2,00	2,67 a
45 + 45 kg.ha ⁻¹ de N	2,00	1,44 b
Média Geral	2,17	1,91

⁽¹⁾ Em cada coluna, médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Corroborando com estes resultados, o desdobramento da interação tripla S x P x C (Tabela 6) da variável tamanho de nódulos, localizou significância apenas na safra de inverno, na presença de 0 ou 15 kg.ha⁻¹ de N (Figura 7). Na realidade, apenas na dose zero de N em cobertura o resultado mostrou-se consistente, com redução do tamanho do nódulo à medida que se aumentou a dose de N no plantio. Na dose 15 kg.ha⁻¹ de N em cobertura (Figura 7), observe que houve um aumento no tamanho dos nódulos até à dose de 15 kg.ha⁻¹ de N no

plântio, decrescendo em doses maiores. Nas demais doses de N em cobertura o efeito das doses de N no plântio não foi significativo.

Outros resultados na literatura, como os de Nutman (1981) mostram redução na nodulação com o incremento da dose de N na adubação. Note-se que, nos tratamentos adicionais apresentados na Tabela 7, sem inoculante, a presença da adubação nitrogenada acarretou redução do tamanho do nódulo.

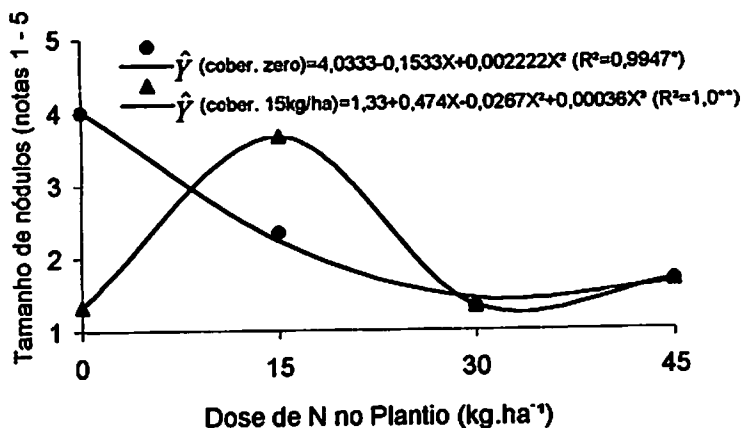


FIGURA 7. Representação gráfica e equações de regressão do tamanho de nódulos nas raízes do feijoeiro (safra do inverno) em função de doses de N no plântio nas doses 0 e 15 kg.ha⁻¹ de N em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 2000.

É possível que neste caso, por se tratar de área já cultivada há vários anos, inclusive com leguminosas, seja elevada a população de rizóbios nativos e naturalizados (estirpes que foram introduzidas através da inoculação), os quais teriam reduzido a eficiência do rizóbio inoculado. A presença de nódulos

menores (notas 1 a 2, Tabelas 2 e 7), também pode ser tomada como uma evidência da nodulação por rizóbio nativo, enquanto nódulos maiores, se existentes, podem ser provenientes de inoculantes selecionados e eficientes em FBN (Nutman, 1981).

4.3 Teores foliares de macronutrientes

A análise de variância para os dados dos teores foliares de macronutrientes é resumida na Tabela 8, onde pode ser observado que houve efeito significativo apenas das doses de nitrogênio no plantio sobre o teor de Ca nas folhas do feijoeiro. Os valores do coeficiente de variação mostram que a precisão experimental foi inferior à encontrada por outros autores como Andrade et al. (1998 a), experimento em vasos e Rodrigues (2001), experimento de campo, com valores de 9,05% 16,88% respectivamente. Nesse último trabalho, o coeficiente de variação encontrado para teor foliar de Ca situou-se entre os de maior valor, o mesmo ocorrendo no presente estudo.

Os teores médios dos macronutrientes encontrados nas folhas do feijoeiro em função das doses de nitrogênio (no plantio e em cobertura), e dos tratamentos adicionais 1 e 2, são apresentados na Tabela 9. Comparados aos valores propostos por Wilcox & Fageria (1976), os teores médios obtidos (Tabela 9) indicam níveis adequados para os macronutrientes, apesar de P e Ca em alguns tratamentos, apresentarem-se, respectivamente, ligeiramente abaixo ou acima do intervalo considerado normal (2,5 a 5,0 g.kg⁻¹ para o P e 8,0 a 30,0 g.kg⁻¹ para o Ca).

Ao contrário do encontrado por outros autores, tal como Rodrigues (2001), o incremento das doses de N, tanto no plantio como em cobertura não elevou significativamente o teor foliar de N (Tabela 9), verificando-se apenas ligeira tendência de acréscimo. Entretanto, deve-se ter em conta que nos trabalhos em que este efeito foi significativo, as doses de N foram superiores às

do presente estudo, como em Rodrigues (2001), que utilizou doses de até 120 kg.ha⁻¹.

TABELA 8. Resumo da análise de variância dos dados relativos aos teores de macronutrientes nas folhas do feijoeiro, safra do inverno. UFLA, Lavras - MG, 2000.

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
N plantio (P)	3	11,574	0,166	2,866	429,35**	0,562	0,340
N cobertura (C)	3	35,954	0,308	4,710	81,541	0,467	0,566
Repetição	2	114,189	0,430	2,771	31,526	0,142	1,382
P x C	9	29,983	0,082	1,915	76,119	0,327	0,235
Inoc. na dose 0 x Adicional 1	1	105,840	0,060	1,075	3,450	0,047	0,640
Inoc. na dose 45 + 45 x Adicional 2	1	2,16	0,112	0,000	2,245	0,007	0,020
Erro	34	26,845	0,130	4,203	64,085	0,317	0,223
CV (%)		15,60	13,80	10,19	26,27	18,68	19,27

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F

Embora a adição de doses crescentes de nitrogênio no plantio não tenha influenciado os teores dos demais nutrientes nas folhas do feijoeiro, ela elevou linearmente o do Ca (Figura 8). O acréscimo linear do Ca pode ser atribuído a dois fatores principais, o primeiro, relaciona-se ao maior crescimento do sistema radicular com o incremento da dose de N no plantio; como consequência, haveria maior absorção de Ca, cujos mecanismos de contato com a raiz são interceptação radicular e fluxo de massa. A maior área transpiratória das plantas supridas com as maiores doses de N, teria provocado maior transpiração e maior déficit de água em volta das raízes, de forma a proporcionar maior fluxo de água

(ou solução do solo com Ca) até à superfície radicular. Em adição, o Ca na planta acompanharia a corrente transpiratória, sendo levado à parte aérea. O mecanismo de contato e absorção do Ca teria sido, então, corroborado pela boa disponibilidade de água no solo (safra irrigada), e pelas menores umidades relativas na safra do inverno.

TABELA 9. Teores médios de macronutrientes (g.kg^{-1}) nas folhas do feijoeiro em função das doses de nitrogênio (no plantio e em cobertura), e dos tratamentos adicionais safra do inverno. UFLA, Lavras - MG, 2000.

Fatores	N	P	K	Ca	Mg	S
N plantio (kg.ha^{-1})						
0	32,25	2,71	20,23	24,75	2,81	2,67
15	32,08	2,58	19,49	26,79	2,90	2,55
30	33,30	2,47	20,64	34,71	3,12	2,28
45	34,18	2,72	20,34	37,08	3,29	2,48
N cobertura (kg.há^{-1})						
0	31,40	2,76	20,02	30,67	2,95	2,79
15	31,52	2,41	20,02	32,98	2,82	2,34
30	34,30	2,59	21,07	27,21	3,05	2,45
45	34,60	2,72	19,60	32,46	3,29	2,33
Média	32,95	2,62	20,18	30,83	3,03	2,48
Adicionais (não inoculados)						
Testemunha	35,13	4,14	19,49	23,56	2,66	2,71
45 + 45 kg.ha^{-1} de N	35,47	2,37	19,92	31,71	3,17	3,78
Média Geral	33,21	2,61	20,12	30,48	3,02	2,45

Este resultado diverge do encontrado por Andrade et al. (1998 a), em vasos, quando houve redução na concentração do Ca nos tratamentos com N. Os autores atribuíram esse efeito a uma diluição nos tecidos, já que o N aumentou a

produção de massa seca das folhas. Rodrigues (2001), por outro lado, não observou efeito de doses de N sobre o Ca, mesmo utilizando doses superiores às utilizadas no presente estudo.

Deve ser mencionado ainda, que além das condições dos ensaios (campo ou casa-de-vegetação, por exemplo) e das doses de N utilizadas, vários outros fatores poderiam explicar a diversidade de resultados. Dentre eles, poderiam ser citados os teores dos nutrientes no solo, as adubações realizadas, a eficiência dos genótipos (na absorção, transporte e acúmulo nas diferentes partes da planta) e a época de semeadura.

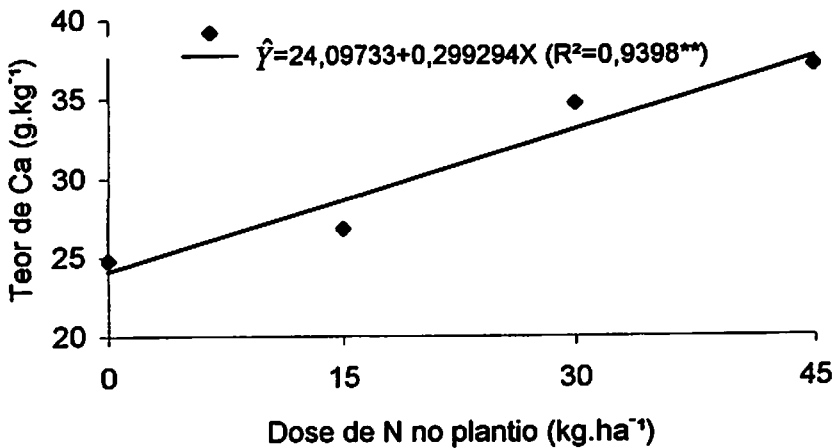


FIGURA 8. Representação gráfica e equação de regressão da concentração de Ca nas folhas do feijoeiro (safra do inverno) em função de doses de N no plantio. UFLA, Lavras-MG, 2000.

5 CONCLUSÕES

- a) O incremento das doses de N no plantio resulta em aumentos na massa seca da parte aérea e no rendimento de grãos do feijoeiro, mas este efeito é diferenciado nas três safras.
- b) O aumento das doses de N em cobertura resulta em acréscimo linear no rendimento de grãos, independentemente da safra.
- c) Com base na nodulação radicular dos feijoeiros, a inoculação das sementes com a estirpe BR 322 de *Rhizobium tropici* não é eficiente.
- d) As doses de N utilizadas não alteram os teores foliares dos macronutrientes, exceto o de Ca.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; MARTINS, L.A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro: nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.1, p.105-112, jan. 1994.
- ALLOS, H.F.; BARTHOLOMEW, W.V. Effect of available nitrogen on symbiotic fixation. *Soil Science Society of America Proceedings*, Ann Arbor, v.19, p.182-184, 1955.
- ALMEIDA, L.D.; BULISANI, E.A. Técnicas para aumentar a rentabilidade do feijoeiro. *Correio Agrícola*, São Paulo, n.1 p.236-243, 1980.
- AMANE, M.I.V. Adubação nitrogenada e molibídica da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na Zona da Mata de Minas Gerais: efeito de doses, calagem e rizóbio, 1997. 83p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- AMANE, M.I.V.; VIEIRA, C.; CARDOSO, A.A.; ARAÚJO, G.A. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenada e molibídica., *Revista Ceres*, Viçosa , v.41: p.202-216, 1994.
- ANDRADE, M.J.B.; ALVARENGA, P.E.; CARVALHO, J.G. de; SILVA, R. da; NAVES, R. de L. Influência do nitrogênio, rizóbio e molibdênio sobre o crescimento, nodulação radicular e teores de nutrientes no feijoeiro. *Revista Ceres*, Viçosa, v.45, n.257, p.65-79, 1998 a.
- ANDRADE, M.J.B.; ALVARENGA, P.E.; SILVA, R.; CARVALHO, J.G.; JUNQUEIRA, A.D.A. Resposta do feijoeiro às adubações nitrogenada e molibídica e à inoculação com *Rhizobium tropici*. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.25, n.4, p.934-940, jul./ago. 2001
- 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*, Lavras, v.22, n.4, p.499-508, out./dez. 1998 b.

- ANDRADE, M. J. B.; RAMALHO, M. A. P. **Cultura do Feijoeiro. "Curso de Atualização Técnica para Engenheiros Agrônomos do Banco do Brasil" no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo / Sete Lagoas-MG: EMBRAPA, 1995. 97p.**
- ARAÚJO, R.S. **Fixação biológica do nitrogênio em feijão. In: ARAUJO, R.S. ; HUNGRIA, M. (eds.). Microorganismos de importância agrícola. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.91-120.**
- ARF, O.; FERREIRA, E.C.; CARVALHO, M.A.C.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. **Efeito de doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: RENAFE – REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6, Salvador-BA. Anais... Goiânia-GO, 1999. p.790-793.**
- BARBOSA FILHO, M.P.; JUNQUEIRA NETTO, A; GUEDES, G.A.A.; REZENDE, P.M. **Efeitos de idade, fósforo, molibdênio e cobalto no teor percentual de nitrogênio em deferentes partes do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) Ciência e Prática, Lavras, v.3, p.107-116, 1979.**
- BERGER, P.G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G.A.A. **Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.31, n.7, p.473-480, 1996.**
- BRASIL. **Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas – 1961-1990. Brasília: MARA, 1992. 84p.**
- CAMARGO, M.B. **Avaliação de genótipos de feijoeiro comum em resposta à inoculação com *Rhizobium* e nitrogênio em cobertura. Jaboticabal: UNESP. 1998. 66p. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal).**
- CASSINI, S.T.A.; FRANCO, M.C. **Fixação biológica de nitrogênio. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa: UFV, 1998. p.153-180.**
- 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.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.). Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais ; 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. p.306-309.**

COBRA NETO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), var. Roxinho. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.28, p.257-274, 1971.

EARDLY, B.C.; WANG, F.S.; WHITHAM, T.S.; SELANDER, R.K. Species limits in *Rhizobium* population that nodulate the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.6, p.507-112. 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

FASSBENDER, H.W. **Química de suelos: com ênfasis em suelos de América Latina**. Turrialba: IICA, 1975. 398p.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos SP. Programa e Resumos... São Carlos: UFSCar, 2000. p.235.

FLIS, S.E.; GLENN, A.R.; DILWORTH, M.J. The interaction between aluminium and root nodule bacteria. **Soil Biological and Biochemistry**, Elmsford, v.25, p.403-417. 1993

FRANCO, A.A. **Acidity factors limiting nodulation, nitrogen fixation, and growth of (*Phaseolus vulgaris* L.)**, 1981. 143p. Thesis (PhD) University of California. Davis.

FRANCO, A.A. Nutrição nitrogenada na cultura do feijoeiro. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, v.70, p.4-5, jun. 1995.

FRANCO, A.A.; DÖBEREINER, J. Interferência do cálcio e nitrogênio na fixação simbiótica do nitrogênio por duas variedades de *Phaseolus vulgaris* L. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, p.223-227, 1968.

FRIZZONE, J.A.; ZANINI, J.R.; MÊS, L.A.D.; NASCIMENTO, V.M.do. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: UNESP, 1985. 31p. (Boletim Técnico, 2).

GALLO, J.R.; MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos do florescimento à maturação. **Bragantia**, Campinas, v.20, n.40, p.867-884, set. 1961.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. 467p.

GRAHAM, P.H.; PARKER, C.A. Diagnostic features in Ter characterization of the root-nodule bacteria of legumes. **Plant and Soil**, The Hague, v.20, p.383-396, 1964

HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.26, n.30, p.381-391, ago. 1967.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. Relato da VI Reunião de laboratórios para recomendação de estirpes de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. In: HUNGRIA, M.; BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S. (eds.). **Microbiologia do Solo: Desafios para o século XXI**. Londrina, 1994. p.476-489. (Simpósio Brasileiro de Microbiologia, 3, Londrina, 1994).

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; MENDES, I. Melhore seu feijão, use mais inoculantes. **Informativo Nitral Urbana**, Pinhais/Pr, v. 3, n.9, p.3, 2001

JOHNSON, A.C.; WOOD, M. DNA as possible site of action of aluminium in *Rhizobium sp.*, **Applied and Environmental Microbiology**, Washington. v.56, p.3629-3633, 1990.

KUHN, O.J.; PESSOA, A.C.S.; LUCHESE, E.B.; CAVALLET, A.G.F.; RICHART, A. Produtividade do feijoeiro "IAPAR 72" em resposta ao manejo da adubação nitrogenada e à adubação foliar com molibdênio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., Caxambu, 1998. **Resumos**. Caxambu: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.475.

LAVRAS. Prefeitura Municipal de Lavras. Secretaria de indústria e comércio, serviços e tecnologia. **Conheça Lavras**. Lavras, 1993. 97p.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989.153p.

LOVATO, P.E.; PEREIRA, J.C.; VIDOR, C. Flutuação populacional de estirpes de *Rhizobium phaseoli* na rizosfera de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.211-218, 1985a.

- LOVATO, P.E.; PEREIRA, J.C.; VIDOR, C. Flutuação populacional de *Rhizobium phaseoli* em solos com e sem calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.9-12, 1985b.
- MACHADO, J.; JUNQUEIRA NETTO, A.; GUEDES, G.A.A.; REZENDE, P.M. Efeitos de fósforo, molibdênio e cobalto sobre o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v.3, p.101-106, 1979.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA E.; LIMA FILHO, O.F. Nutrição e adubação de feijoeiro. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (ed.) **Tecnologia da produção de feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ, 1997 p.22-51.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MUNNS, D.N. Nodulation of *Medicago sativa* in solution culture. I - Acid-sensitive steps. **Plant and Soil**, The Hague, v.28, p.129-146, 1968.
- NUTMAN, P.S. The influence of the legumes in the root nodule symbiosis. **Biology Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v.31, p.109-151, 1956.
- NUTMAN, P.S. Hereditary host factors affecting nodulation and nitrogen fixation. In: GIBSON, A.H.; NORTON, W.E. (eds.). **Current perspectives in nitrogen fixation**. Camberra: Australian Academy of Science, 1981. p.194-204.
- OLIVEIRA, C.A.; VASCONCELOS, C.A.; MARRIEL, I.E.; PEREIRA FILHO, A.; SÁ, N.M.H. Efeito da temperatura sobre a fixação de N₂ do feijoeiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., Caxambu, 1998. **Resumos**. Caxambu: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.181.
- OLIVEIRA, S.A.; THUNG, M.R.T. Nutrição mineral. In: ZIMMERANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (eds.). **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.175-212.

PEREIRA, E.G.; LACERDA, A.M.; LIMA, A.S.; MOREIRA, F.M.S.; CARVALHO, D.; SIQUEIRA, J.O. Genotypic, phenotypic and symbiotic diversity amongst rhizobia isolates from *Phaseolus vulvaris* L. growing in the amazon region. In: PEDROSA, F.O.; HUNGRIA, M.; YATES, M.G.; NEWTON, W.E. Nitrogen fixation: From molecules to crop productivity. Foz do Iguaçu: Kluwer academic publishers, 1999. p.199.

PEREIRA, P.A.A. Fixação biológica de nitrogênio do feijoeiro. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.8, p.41-46, 1982.

RAIJ, B.van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 445p.

RODRIGUES, J.R.M. Resposta do feijoeiro (cvs. Carioca e Pérola) a doses de nitrogênio e fósforo. 2001. 124p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (eds). Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: POTAFÓS, 1996. p.353-385.

ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. Seja doutor do seu feijoeiro. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.68, p.1-16, dez. 1994.

ROSOLEM, C.A. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 93p. (POTAFOS. Circular Técnica, 8).

RUSCHEL, A.P.; SAITO, S.M.T. Efeito da inoculação de *Rhizobium*, nitrogênio e matéria orgânica na fixação simbiótica de nitrogênio em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.1, p.21-24, 1977.

SANTOS, A.B. dos; VIEIRA, C.; LOURDES, E.G.; BRAGA, J.M.; THIEBAUT, J.T.L. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao molibdênio e ao cobalto em solos de Viçosa e Paula Cândido, Minas Gerais. Revista Ceres, Viçosa, v.26, p.92-101, 1979.

SANTOS, M.L. dos; BRAGA, M.J. Aspectos econômicos. In: VIEIRA, C.; PAULA, JR., T.J. de; BORÉM, A. Feijão: aspectos gerais e cultura no estado de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 1998. Cap.2, p.19-53.

SEGOVIA, L.; PINERO, D.; PALACIOS, R.; MARTINEZ-ROMERO, E. Genetic structure of a soil population of nonsymbiotic *Rhizobium leguminosarum*. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington v.57, p.426-33, 1991.

SERVIÇO DE APOIO AS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE MINAS GERAIS. Sebrae-MG. Lavras: diagnóstico municipal. Belo Horizonte, 1998. 179p.

SILVA, P.M. da; TSAI, S.M.; BONETTI, R. Response to inoculation and N fertilization for increased yield and biological nitrogen fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil*, The Hague, v.152, p.123-30, 1993.

SILVA, T.R.B.; SORATTO, R.P.; ARF, N.C.O.; BUZETTI, S. Efeitos de doses e da época de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no período de inverno. In: RENAFE – REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6, 1999, Salvador-BA. Anais... Goiânia-GO, 1999. p.805-808.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.3, p473-481 mar. 2001.

TAYLOR, R.W.; WILLIAMS, M.L.; SISTANI, K.R. Nitrogen fixation by soybean-*Bradyrhizobium* combinations under acidity, low P and high Al stress. *Plant and Soil*, The Hague, v.131 p.293-300, 1991.

TEXEIRA, 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 dose de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.24, n.2, p.399-408, abr/jun, 2000.

TSAI, S.M.; BONETTI, R.; AGBALA, S.M.; ROSSETTO, R. Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutrient levels. *Plant and Soil*, The Hague, v.152, p.131-138, 1993.

VALÉRIO, C.R.; ANDRADE, M.J.B.; FERREIRA, D.F. Resposta do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) a dose de nitrogênio aplicado no plantio e em cobertura. In: RENAFE – REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6, Salvador-BA. Anais... Goiânia-GO, 1999. p.866-867.

VARGAS, A.A.T. ; GRAHAM, P.H. *Phaseolus vulgaris* variedade and Rhizobium strain variation in acid-pH tolerance and nodulation under acid conditions. *Field crops research*, Amsterdam, v.19, p.91-101, 1988.

VICENT, J.M. *A manual for the practical study of root nodule bacteria*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1970. p.164.

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. *Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas*. Viçosa: UFV, 1998. p.123-151.

VIEIRA, C.; NOGUEIRA, A.O.; ARÚJO, G.A.A. Adubação nitrogenada e molibídica na cultura do feijão. *Revista de Agricultura*, Piracicaba. v:67, p.117-124, 1992.

VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; CASSINI, S.T.A.; VIEIRA, C. Foliar application of molybdenum in common beans. III: Relationship between nodule number and weight. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS – THE ROLE OF BNF. Angra dos Reis, 1995. *Anais...*, Angra dos Reis, 1995. p.193.

VIEIRA, R.F.; SALGADO, L.T.; VIEIRA, C.; Rizóbio, molibdênio e cobalto na cultura do feijão no Alto Paranaíba e Noroeste de Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, v.41, n.238, p.688-894, 1994.

YASSIN, N. *Análise de experimentos fatoriais de dois fatores com tratamentos adicionais*. 2001. 161p. Dissertação (Mestrado em Estatística Experimental agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

WILCOX, G.E.; FAGERIA, N.K. *Deficiências nutricionais do feijoeiro: sua identificação e correção*. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1976. 22p. (EMBRAPA - CNPAF. Boletim Técnico, 6)