



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**APLICAÇÃO FOLIAR DE COBALTO,
INOCULAÇÃO COM RIZÓBIO E ADUBAÇÃO
NITROGENADA NA CULTURA DO
FEIJOEIRO**

MARCELO VIEIRA DA SILVA

2002

52973
37520-MFN

MARCELO VIEIRA DA SILVA

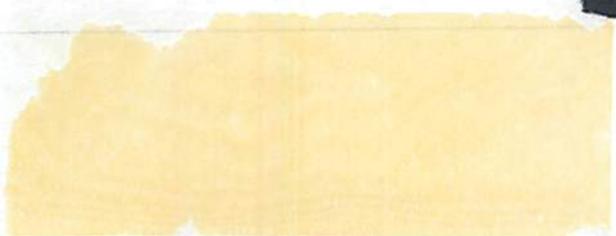
**APLICAÇÃO FOLIAR DE COBALTO, INOCULAÇÃO COM RIZÓBIO
E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO FEIJOEIRO**

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 - BRASIL**



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

Silva, Marcelo Vieira da

Aplicação foliar de cobalto, inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro / Marcelo Vieira da Silva. -- Lavras : UFLA, 2002.

54 p. : il.

Orientador: Messias José Bastos de Andrade

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Adubação foliar. 2. Cobalto. 3. Rizóbio. 4. Nitrogênio. 5. *Phaseolus vulgaris*. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.652894

MARCELO VIEIRA DA SILVA

**APLICAÇÃO FOLIAR DE COBALTO, INOCULAÇÃO COM RIZÓBIO
E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO FEIJOEIRO**

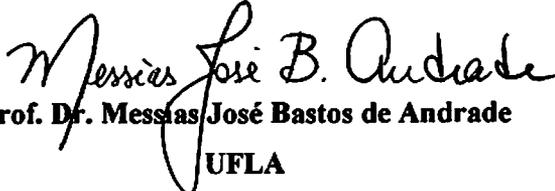
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 18 de Fevereiro de 2002.

Profª. Dra. Fátima Maria de Souza Moreira - UFLA

Profª. Dra. Janice Guedes de Carvalho - UFLA

Prof. Dr. João Batista Donizeti Corrêa - UFLA


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

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

**Aos meus pais Osmar e Maria Antoniêta, pois com
apoio constante e incentivo venci
mais esta etapa.**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus;

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura pela oportunidade de realização deste curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos;

Ao Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade, pela orientação, disponibilidade, incentivo, auxílio e ensinamentos transmitidos durante todo o curso;

Ao Prof. Augusto Ramalho de Moraes, pela atenção, paciência e orientação nas análises estatísticas;

À Prof^a. Fátima Maria de Souza Moreira, pelo fornecimento de materiais para montagem dos experimentos;

Aos funcionários Manguinho, Agnaldo, João, Correia, Julho e Alessandro, pela colaboração na condução dos experimentos no campo;

Aos colegas do curso de Fitotecnia, pelo convívio e amizade

Aos colegas 'feijoeiros' Kikuti, Vandeir, Marcos e Neiva, pela amizade, apoio e colaboração durante a condução dos experimentos;

Aos colegas de república Warley, Renato Giacometti, Renato Ribeiro e Marcelo Pinheiro, pelo convívio e amizade;

Aos meus irmãos Ricardo e Míriam, pelo constante apoio e amizade;

À minha namorada Viviane, que soube compreender e tolerar minha ausência sempre me apoiando, sendo uma constante companheira;

Sou grato também a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho;

MUITO OBRIGADO.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO	03
2.1 Nitrogênio	03
2.2 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)	05
2.2.1 FBN e Fatores Edafoclimáticos	07
2.2.2 FBN e Estirpes de Rizóbio	09
2.2.3 FBN e Cultivares de Feijoeiro	10
2.2.4 FBN, Molibdênio e Cobalto	13
2.2.5 FBN e Nitrogênio do Solo	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Estande Inicial	31
4.2 Massa Seca da Parte Aérea	32
4.3 Nodulação	34
4.4 Estande Final	35
4.5 Rendimento de Grãos	36
5 CONCLUSÕES	42
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

RESUMO

SILVA, Marcelo Vieira da. Aplicação foliar de cobalto, inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro. 2002. 54p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

Com o objetivo de avaliar no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a aplicação de doses de Co via foliar, na presença de inoculação das sementes com rizóbio ou de adubação nitrogenada, foram conduzidos três ensaios de campo nas safras de inverno-primavera 2000, águas 2000/01 e seca 2001, em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições e os tratamentos dispostos em esquema fatorial (4 x 2) + 3, envolvendo quatro doses de Co aplicadas via foliar (0, 1, 2, e 3, g.ha⁻¹ de Co, fonte cloreto de cobalto p.a.) e duas formas de fornecimento de nitrogênio (inoculação das sementes com rizóbio ou adubação nitrogenada via solo), mais três tratamentos adicionais: apenas inoculação das sementes, apenas adubação nitrogenada e testemunha absoluta (sem N e sem inoculação). A fonte de nitrogênio foi uréia, na base de 30 kg.ha⁻¹ de N no plantio mais 30 kg.ha⁻¹ de N em cobertura. Foi empregada a cultivar Pérola e a estirpe BR322 (CIAT 899) de *Rhizobium tropici*. Avaliaram-se os estandes inicial e final, a nodulação e massa seca da parte aérea por ocasião do florescimento e o rendimento de grãos. O aumento das doses de Co não afetou o crescimento vegetativo e nem a nodulação do feijoeiro, mas elevou o rendimento de grãos nas safras da seca e do inverno, sem no entanto, atingir pontos de máxima produção. A adubação nitrogenada reduziu o tamanho dos nódulos. O fertilizante nitrogenado proporcionou maior crescimento vegetativo e maior rendimento de grãos da leguminosa do que a inoculação com rizóbio. A existência de população expressiva de rizóbio nativo pode ter restringido o efeito da FBN das plantas pela estirpe inoculada.

* Comitê Orientador: Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade – UFLA (orientador), Prof^ª. Dra. Fátima Maria de Souza Moreira – UFLA (Co-orientadora) e Prof. Dr. Augusto Ramalho de Moraes – UFLA (Co-orientador).

ABSTRACT

SILVA, Marcelo Vieira da. Cobalt foliar application, rhizobia inoculation and nitrogen fertilization on common bean crop. 2002. 54p. Dissertation (Master in Crop Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

Three field experiments (winter-spring 2000, summer 2000/2001, and summer-fall 2001 sowing seasons) were carried out in a Red Latossol at Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais State, Brazil, in order to evaluate, on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), the foliar application of cobalt (Co) increasing dosis in the presence of seed rhizobia inoculation or soil nitrogen fertilization. The experimental design was randomized blocks with three replications and (4 x 2) + 3 factorial arrangement, involving four Co dosis (0, 1, 2 and 3 g.ha⁻¹ of Co, p.a. cobalt chloride source) and two forms of N supply (seed rhizobia inoculation or soil N fertilization) plus three additional treatments (seed rhizobia inoculation, soil N fertilization and absolute control (without inoculation and N fertilization)). N was applied as urea at 30 kg.ha⁻¹ at sowing and 30 kg.ha⁻¹ at covering. The bean cultivar was 'Pérola' and the inoculum was the BR 322 (CIAT 899) strain of *Rhizobium tropici*. The initial and final stands, the nodulation and the dry weight of aerial part at blooming, and the grain yield at harvest, were evaluated. The increase of the Co dosis didn't affect the vegetative growth and nor the nodulation of bean plant, but it increased the grain yield in the winter-spring and summer-fall sowing seasons, however without reaching maxim production points. The N fertilization reduced the nodule size, but provided larger vegetative growth and larger grain yield than the seed inoculation with rhizobia. The expressive indigenous rhizobia populations may have reduced the FBN effects of the inoculated strain.

* Guidance committee: Messias José Bastos de Andrade, DSc., UFLA (Major Professor), Fátima Maria de Souza Moreira, DSc., UFLA and Augusto Ramalho de Morais, DSc., UFLA.

1 INTRODUÇÃO

O processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) atmosférico através da associação simbiótica entre leguminosas e bactérias formadoras de nódulos radiculares é conhecido há bastante tempo. No caso de algumas espécies cultivadas, como a soja (*Glycine max* L. Merrill), por exemplo, a prática de inoculação de sementes com estirpes eficientes de rizóbio dispensa o emprego de fertilizantes nitrogenados na cultura, representando, conseqüentemente, grande redução no custo de produção e importante economia de divisas para o País. Nas lavouras brasileiras de feijão, estima-se que os gastos com fertilizantes nitrogenados 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.

A eficiência da FBN das leguminosas em geral depende de diversos fatores relacionados ao ambiente (como acidez do solo, temperatura, disponibilidade de água, teor de N no solo e disponibilidade de P, Mo e Co), outros relativos à planta (estado nutricional e cultivares, entre outros) ou mesmo à bactéria (como gênero, espécie e estirpe de rizóbio).

Dentre as leguminosas, o feijoeiro é tido como uma das espécies em que a FBN se apresenta com menor eficiência. Entre outros aspectos, concorrem para esta baixa eficiência: a) o fato da seleção de novas cultivares sempre ter ocorrido na presença de fertilizantes nitrogenados; b) a baixa tolerância do rizóbio à acidez do solo e às variações de temperatura; c) a baixa capacidade competitiva do rizóbio inoculado em relação a microorganismos nativos do solo (inclusive rizóbio nativo) e d) o fato de não haver coincidência entre os períodos de maior demanda de N pela planta e de maior atividade da bactéria.

Estas limitações têm prejudicado a difusão da prática de inoculação de sementes de feijão entre os agricultores e mesmo dificultado a geração de uma recomendação mais generalizada, que possa permitir ao produtor usufruir dos benefícios da FBN pelo feijoeiro.

Recentemente, entretanto, o considerável avanço obtido no conhecimento de fatores que afetam o processo, aponta no sentido da necessidade de se estudá-los a nível de campo, com o emprego de novas cultivares e novas estirpes ou novos inoculantes comerciais, em diferentes sistemas de produção. Estudos neste sentido poderão vir a contribuir sobremaneira para a redução dos custos de produção e da dependência de fertilizantes nitrogenados pela cultura do feijoeiro.

Este trabalho teve por objetivo estudar, a campo, o efeito da aplicação de doses de Co via foliar, na presença de inoculação das sementes com rizóbio ou de adubação nitrogenada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Nitrogênio

As plantas são capazes de absorver o nitrogênio do meio em diferentes formas: N_2 (caso das leguminosas, pela fixação biológica), uréia e na forma mineral como NH_4^+ e NO_3^- , sendo esta última predominante em condições naturais, devido ao processo de nitrificação. Ambas as formas minerais são rapidamente absorvidas pelas raízes das plantas, e a maior absorção de uma forma em relação a outra é acompanhada por variações no pH do meio. Para a manutenção da neutralidade elétrica interna no citoplasma, com a absorção do NH_4^+ há a extrusão de um próton (H^+) para o meio; da mesma maneira, para o NO_3^- há liberação de OH^- ou HCO_3^- , o que promove o abaixamento ou elevação do pH do meio, respectivamente. Além do processo de nitrificação, este é um fator adicional de acidificação do solo quando se aduba as plantas com fertilizantes amoniacais (Faquin, 1997).

A atmosfera possui cerca de 80% de nitrogênio na forma de N_2 , sendo importante fonte desse nutriente (Malavolta, 1980). No solo, o nitrogênio encontra-se quase todo na forma orgânica, sendo uma reduzida fração encontrada na forma mineral de nitratos (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) (Raij, 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. Em média, um hectare de solo possui, até à profundidade de 30 cm, entre 1000 e 1500 kg de N total, sendo a fração mineral correspondente a apenas 25 kg.

O grão de feijão contém, em média, 22% de proteína bruta, sendo o nitrogênio componente essencial para a síntese protéica e o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro. A colheita de uma população de 250 mil

plantas de feijoeiro em fase de maturação, extrai cerca de 100 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, dos quais mais de 30 kg são exportados por tonelada de grão produzida (Oliveira et al., 1996).

Quando o N é deficiente no feijoeiro (teores foliares inferiores a 2 dag.kg⁻¹ de N), as plantas são atrofiadas, com caule e ramos delgados e folhas apresentando coloração entre verde-pálido e amarela. A formação de ramos é reduzida e poucas flores se desenvolvem. As vagens contêm poucas sementes e estas são pequenas, resultando em baixo rendimento de grãos (Oliveira et al., 1996). De acordo com Malavolta (1980), plantas deficientes apresentam baixo teor de clorofila e redução no crescimento e na síntese de proteína.

Como será visto mais adiante, a adubação nitrogenada ainda é imprescindível ao cultivo do feijoeiro, razão pela qual o nitrogênio é recomendado nas fórmulas de adubação e inúmeros experimentos sobre doses, formas e épocas de aplicação de nitrogênio continuam sendo realizados (Oliveira & Thung, 1988).

As duas fontes nitrogenadas mais utilizadas na agricultura brasileira são uréia e sulfato de amônio, certamente por serem de menor custo e de maior disponibilidade no mercado. Ambas apresentam baixa eficiência de utilização pelas culturas, raramente superior a 50% (Barbosa Filho & Silva, 2001). A uréia, pelas suas características e reação no solo, possui grande potencial de perda de NH₃ por volatilização (Lara Cabezas & Trivelin, 1990), e o sulfato de amônio, além da possibilidade de perda, apresenta alta capacidade de acidificar o solo (Fox & Hoffman, 1981).

Devido ao fato da fixação biológica não suprir a demanda da planta, a adubação nitrogenada frequentemente tem proporcionado expressivos aumentos na produtividade do feijoeiro. Entretanto, a magnitude das respostas está relacionada ao manejo do solo e às condições climáticas ocorridas. Por exemplo, áreas que recebem adubação orgânica frequente e/ou com rotação de culturas

onde se incluem plantas leguminosas apresentam pouca probabilidade de resposta à adubação nitrogenada (Parra, 2000).

As recomendações de adubação indicam que parte do nitrogênio deve ser aplicado no sulco de plantio e parte em cobertura, no início do florescimento, antes, portanto, da fase de maior exigência (Parra et al., 1978; Comissão..., 1989; Chagas et al., 1999). O parcelamento melhora a assimilação pela planta e reduz as perdas, tornando mais racional o aproveitamento do fertilizante (Frizzone et al., 1985). Em Minas Gerais, recomenda-se 20 a 40 kg de N.ha⁻¹ junto ao fósforo e potássio na semeadura, e 20 a 60 kg de N.ha⁻¹ em cobertura, entre 20 e 25 dias após a emergência dos feijoeiros, sendo as dosagens ajustadas de acordo com o nível de produtividade ou tecnologia adotado (Chagas et al., 1999). Mais recentemente, vale ressaltar que Teixeira et al. (2000), encontraram respostas lineares à aplicação de até 150 kg de N.ha⁻¹.

2.2 Fixação Biológica de Nitrogênio (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 estruturas altamente especializadas – 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, incorporando-o em compostos nitrogenados que podem ser translocados para as suas diferentes partes, e

servirão para a síntese de proteínas (Cassini & Franco, 1998; Hungria et al., 2001).

Por ser uma leguminosa, o feijoeiro pode adquirir parte do N necessário ao seu crescimento por meio de associação simbiótica com bactérias que fixam N_2 . Isso ocorre por meio da ação do complexo enzimático nitrogenase presente nos bacteróides dos nódulos. Assim o feijão, além de contar com o fornecimento de N do solo, dos fertilizantes e da água da chuva, conta também com a FBN. No entanto, de forma geral, o suprimento de N pelo processo de fixação fica aquém do necessário para se alcançar altas produtividades (Araújo, 2000). De acordo com Pereira et al. (1999), o feijoeiro é um hospedeiro altamente promíscuo, que pode ser nodulado por pelo menos oito espécies de rizóbio: *Rhizobium leguminosarum* bv phaseoli, *Rhizobium tropici*, *Rhizobium etli*, *Rhizobium giardinii*, *Rhizobium gallicum*, *Mesorhizobium loti*, *Mesorhizobium hiakuii* e *Sinorhizobium fredii*.

Ruano (1984) observou queda de suprimento de fotoassimilados aos nódulos, no período de enchimento de grãos do feijoeiro, causada pela drenagem desses compostos pelas vagens. Essa diminuição no suprimento promove queda da atividade da nitrogenase, degeneração dos nódulos e aparecimento de sintomas de deficiência de N.

Mesmo sendo uma leguminosa, só recentemente o feijoeiro tem despertado atenção dos melhoristas com relação à sua capacidade em fixar nitrogênio. De acordo com Araújo & Henson (1988), ainda há necessidade de mais estudos para se conhecer melhor a interação, obter estirpes de *Rhizobium* altamente eficientes e competitivas, e obter genótipos “fixadores” para maximizar a fixação de N_2 e eliminar a necessidade de adubação nitrogenada para a cultura do feijoeiro.

Nas leguminosas em geral, a prática da inoculação de suas 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. 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 (Cassini & Franco, 1998).

De acordo com Tsai et al. (1993), as taxas de fixação de N_2 pelo feijoeiro chegam a atingir entre 20 e 60 $kg.ha^{-1}$ de N_2 por ciclo. Esta grande variação de resposta da espécie à inoculação deve-se à alta suscetibilidade da planta aos mais diversos estresses ambientais e ao ciclo da cultura, pois de maneira geral, cultivares de ciclo longo fixam mais N_2 que cultivares de ciclo curto (CIAT, 1976). Desta forma, para o sucesso no uso da inoculação com rizóbio como principal fonte de nitrogênio para as plantas leguminosas, deve-se considerar tanto a eficiência dessas bactérias como o potencial simbiótico dos cultivares, como será visto mais adiante.

2.2.1 FBN e Fatores Edafoclimáticos

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, 1998; Taylor et al., 1991). Graham & Parker (1964), Munns (1968) e Franco (1981) afirmaram que o efeito 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.

Além da acidez propriamente dita, outros fatores associados, tais como excesso de Al e Mn, bem como deficiências de Ca e P, também exercem efeito negativo sobre o processo simbiótico (Franco & Munns, 1982; Evans et al., 1987; Pijnborg et al., 1990). Munns & Keyser (1981) observaram que a frequência da divisão celular foi reduzida pelo alumínio e concluíram que os rizóbios em fase de multiplicação mostram evidências de alta sensibilidade ao alumínio e íons hidrogênio. A associação desses dois íons afeta a sobrevivência dos rizóbios em solos ácidos (Graham et al., 1982; Lowendorf & Alexander, 1983).

Para Rice & Olcen (1983), uma das maneiras de controlar o efeito danoso da acidez do solo no crescimento e sobrevivência do rizóbio é o aumento da dosagem do inoculante, inviável na prática comum. Outra forma seria a utilização de corretivos, os quais apresentam excelentes resultados no aumento da produção do feijoeiro (Buerket et al., 1990), embora de uso praticamente nulo na agricultura de subsistência. Fagiani (1995) verificou que não só a calagem, mas também adubação, são condições essenciais para maximização da interação rizóbio – feijoeiro.

Além da acidez do solo e fatores associados, os rizóbios inoculados e a sua eficiência sofrem os efeitos das condições hídricas e das temperaturas do solo, mostrando-se altamente influenciadas pelo sistema de produção (sequeiro/irrigado) e da época de semeadura (Fornasieri Filho et al., 1988a; Saito, 1982; Coletta Filho, 1993).

Apesar do grande número de fatores que podem atuar no sentido de reduzir a eficiência da nodulação e FBN no feijoeiro, existem recomendações, como a de Franco (1995), que sugere a inoculação como única fonte de N para cultivares que apresentam boa nodulação (como Carioca e Ouro Negro) e para níveis de produtividade de até 1500 kg.ha⁻¹. Para produtividades superiores o autor recomenda adubação com N mineral.

Em contrapartida, existem na literatura diversos trabalhos nos quais o uso da inoculação não proporcionou bons resultados em relação à adubação nitrogenada (Peres et al., 1994; Andrade et al., 2001; Andrade et al., 1998a)

2.2.2 FBN e Estirpes de Rizóbio

Os solos brasileiros são ricos em bactérias nativas 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).

As estirpes nativas apresentam grande competição pelo sítio de nodulação radicular em relação às introduzidas por intermédio da inoculação (Arf et al., 1991; Fornasieri Filho et al., 1988b). A falta de resposta à inoculação é, muitas vezes, proveniente da presença de *Rhizobium* nativo no solo (Mercante et al., 19...). Por essa razão, Denardin (1991) argumenta que maior eficiência da simbiose somente será obtida a partir do momento em que estirpes eficientes tornarem-se viáveis à inoculação.

Além da competição com microorganismos nativos, as estirpes disponíveis de *Rhizobium* tem apresentado grande instabilidade genética que é agravada pelo efeito das altas temperaturas nos solos tropicais (Mercante et al., 19...; Pereira et al., 1999).

Por outro lado, tanto a competitividade quanto a suscetibilidade aos efeitos das temperaturas e da acidez do solo são dependentes da estirpe utilizada. Dentre as principais espécies que nodulam eficientemente o feijoeiro, *Rhizobium tropici* apresenta estirpes mais tolerantes àquelas condições (Martinez-Romero et al., 1991) que *Rhizobium etli* (Segóvia et al., 1993) e *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* (Jordan, 1984). Este fato é altamente relevante, pois

até o início da década de 90, os trabalhos de pesquisa com inoculação de sementes do feijoeiro utilizaram somente estirpes de *R. leguminosarum*, menos eficientes, havendo necessidade da retomada dos trabalhos nesta área. É importante ainda acrescentar que além dessas três espécies, há diversos relatos na literatura sobre a indução de formação de nódulos e estabelecimento de simbiose no feijoeiro com rizóbios isolados de outras leguminosas botanicamente distintas (Hungria et al., 1993; Laguerre et al., 1993), o que confere ao feijoeiro um caráter de promiscuidade na nodulação (Oliveira et al., 1996). As diferentes estirpes de rizóbio, nativas ou inoculadas, diferem no que diz respeito a inúmeros aspectos, como número, peso e tamanho dos nódulos (Lima, 1981) e, conseqüentemente, no que refere à eficiência da FBN.

Segundo Hungria et al. (2001), ensaios com feijoeiro conduzidos pela Embrapa Soja em solos férteis do Paraná obtiveram rendimentos de grãos da ordem de 3500 kg.ha⁻¹, exclusivamente pela inoculação das sementes com estirpes eficientes, produtividade equivalente à obtida pela adubação com 60 kg N.ha⁻¹, parcelados em duas vezes. Situação semelhante foi constatada também em área de várzeas nos Cerrados, em cultivo de primeiro ano, pois as condições de inundação praticamente eliminam a população nativa de rizóbio, favorecendo o estabelecimento com as estirpes eficientes dos inoculantes (Hungria et al., 2001).

2.2.3 FBN e Cultivares de Feijoeiro

Ao longo dos anos os programas de melhoramento têm selecionado novas cultivares de feijoeiro na presença de significativas doses de nitrogênio (como parte das adubações de plantio e/ou cobertura), o que de certa forma contribuiu para selecionar genótipos de feijoeiro cada vez menos eficientes em relação à FBN. Mesmo assim, entre as cultivares atuais existentes, assim como

entre as antigas cultivares e espécies selvagens de *Phaseolus vulgaris* L., existe considerável variabilidade no que diz respeito à eficiência da FBN. De acordo com Nutman (1967), o genótipo da planta parece ter maior influência sobre o mecanismo da nodulação que a bactéria, apesar da importância da estirpe de *Rhizobium*. As respostas diferenciadas em termos de ganhos de produção com a inoculação, demonstram a variabilidade no potencial de fixação do N entre diferentes cultivares de feijão (Vargas et al., 1991 e Peres et al., 1994)

As primeiras pesquisas em busca de genótipos mais eficientes demonstraram que os materiais de ciclo mais longo e de crescimento indeterminado apresentaram melhor fixação de nitrogênio, quando em condições propícias e bem nodulados (Rennie, 1984; Duque et al., 1985). Isso ocorre devido ao fato de que a fixação de nitrogênio se dá predominantemente até à floração, ou seja, durante o crescimento vegetativo (Franco et al., 1979).

Pereira et al. (1993) enfatizaram que a maior suscetibilidade das plantas para a nodulação é um caráter hereditário da simbiose, de tal forma que a seleção para aumento do número de nódulos resulta em linhagens capazes de fixarem mais N atmosférico. Por sua vez, estas linhagens poderão ser utilizadas no melhoramento genético para a transferência desse caráter a cultivares comerciais, resultando na redução do uso de fertilizantes nitrogenados.

Franco et al. (1979), trabalhando com a cultivar Rico 23, concluíram que a maior contribuição da simbiose se deu até à floração. Por outro lado, a assimilação do nitrogênio do solo foi maior no período de formação de vagens e enchimento dos grãos. De acordo com estes resultados, a inoculação daria maior contribuição durante o crescimento vegetativo das plantas, podendo-se, caso haja necessidade, fazer uma adubação nitrogenada na floração, a título de complementação.

Peres et al. (1994), estudando os efeitos da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada em sete cultivares de feijão, verificaram que a inoculação

contribuiu de forma significativa para o aumento no rendimento de grãos em relação à testemunha (sem inoculação e sem N) e que os ganhos de produtividade com a adubação nitrogenada foram ainda superiores aos obtidos com a inoculação. Houve também reposta diferenciada de cultivares de feijoeiro à inoculação com rizóbio.

Camargo (1998), avaliando o comportamento de genótipos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) diante da inoculação com a estirpe CM 255 de *Rhizobium tropici* e da adubação nitrogenada em cobertura, verificou que a adição de nitrogênio aumentou significativamente a produção de grãos, que a inoculação com *Rhizobium* não alterou o teor de nitrogênio nas folhas e grãos, e que a inoculação da estirpe CM 255 de *Rhizobium tropici* mostrou eficiência para alguns dos genótipos, os quais mostraram especificidade para estirpes nativas de *Rhizobium*.

Embora se tenha obtido considerável avanço no conhecimento de fatores que afetam a FBN, ainda não se dispõe de informações seguras para uma recomendação generalizada de estirpes, cultivares ou mesmo da inoculação, de forma a permitir ao agricultor usufruir dos benefícios da FBN pelo feijoeiro (Andrade & Ramalho, 1995). Rosolem (1996) afirma que a inoculação é uma prática que ainda encontra uma série de limitações para emprego generalizado para o feijoeiro.

Segundo Camargo (1998), as mudanças econômicas conscientizam os agricultores da necessidade de tecnificar a cultura, e isto impulsiona a pesquisa para a realização de testes de inoculação nas mais diversas situações. Assim espera-se, para futuro próximo, que a inoculação se torne uma prática comum e rentável. A identificação de estirpes que nodulam as raízes é um dos maiores problemas enfrentados pelos rizobiologistas; neste sentido, várias metodologias têm sido desenvolvidas e usadas nas últimas décadas e estão baseadas em características morfológicas, bioquímicas e genéticas dos rizóbios.

Segundo Ramos (1996), por exemplo, o potencial de nodulação das plantas de soja e feijão pode ser aumentado pela pré-exposição do rizóbio, antes da inoculação, a compostos fenólicos específicos extraídos artificialmente. Sabe-se que compostos fenólicos presentes nos exudatos de raízes podem influenciar o processo de infecção através da indução dos genes de nodulação.

2.2.4 FBN, Molibdênio e Cobalto

A efetividade do suprimento de nitrogênio ao feijoeiro, por meio de fertilizante e, ou, de fixação biológica, e a dependência desses processos à disponibilidade de molibdênio constituem, ainda, um problema mal resolvido (Pessoa et al., 2001).

Várias regiões agrícolas apresentam problemas de deficiência em micronutrientes. No caso do molibdênio, a deficiência é geralmente ligada a baixo pH, principalmente quando ele é menor do que 5,5. A disponibilidade pode ser aumentada pela calagem do solo, desde que haja molibdênio, porém a correção excessiva pode reduzir a disponibilidade de cobalto (Milléo et al., 1999). O Mo, componente essencial da nitrogenase e da nitrato redutase, está presente em menos de 1 ppm na matéria seca das plantas (Malavolta et al., 1997), sendo que nos nódulos das leguminosas têm sido encontrados teores de Mo dez vezes maior do que nas folhas (Faquin, 1997).

Vários são os métodos que podem ser empregados para a aplicação de Mo: aplicação no solo, tratamento de sementes e pulverização foliar. A pulverização foliar possibilita a absorção dos nutrientes pelas folhas e ramos e é uma prática econômica, pois a fonte pode ser aplicada em mistura com herbicidas pós-emergentes (Castro, 1998), e também junto a inseticidas e fungicidas (Silva et al., 1999).

A aplicação foliar de molibdênio eleva os teores de nitrogênio nas folhas dos feijoeiros, que se tornam bem mais verdes e, freqüentemente, aumenta o tamanho dos grãos, o número de vagens por planta e, conseqüentemente, o rendimento de grãos (Amane et al., 1994; Andrade et al., 1998b; Araújo, 2000; Andrade et al., 2001). Existem fortes evidências de que este efeito positivo esteja relacionado com uma melhoria na eficiência da assimilação de nitrogênio, seja ele proveniente da atmosfera, através da fixação simbiótica (onde o Mo é requerido no sistema enzimático da nitrogenase) ou oriundo da absorção radicular e posterior redução na planta, processo em que o Mo é requerido no sistema enzimático da redutase do nitrato (Ruschel, 1979; Vieira, 1994; Andrade et al., 1998a).

Para a efetiva simbiose com o *Rhizobium*, o feijoeiro tem de estar em solo com condições ótimas de fertilidade. A esse respeito, é marcante a influência do Mo, não só para o crescimento da planta e da bactéria, como também para a eficiência da simbiose, pelo estímulo à síntese e à atividade da nitrogenase (Marschner, 1995).

Rodrigues et al. (1996) aplicando 0, 40, 80 e 120 g.ha⁻¹ de Mo (molibdato de amônio) aos 25 dias após emergência, sobre as cultivares Ouro Negro, Carioca-MG, Jalo-ESAL, Ouro e Roxo 90, não observaram diferenças varietais na resposta ao Mo, mas observaram efeito quadrático das doses de Mo sobre o rendimento de grãos, com pontos de máximo entre 76 e 80,7 g.ha⁻¹ de Mo e efeito também quadrático sobre os componentes do rendimento (exceto número de grãos por vagem) e índice de colheita.

Berger et al. (1996) estudando o efeito de doses e épocas de aplicação do Mo sobre a cultura do feijão, verificaram que a dose deste micronutriente, em aplicação foliar, que proporcionou a maior produtividade de feijão, foi de 80 a 90 g.ha⁻¹ de Mo, e que a época mais propícia para essa aplicação foi de 14 a 28 dias após a emergência do feijoeiro.

Andrade et al. (1998b) estudaram um fatorial 3 x 2 x 2 envolvendo três níveis de adubação nitrogenada na semeadura (0, 20 e 40 kg de N.ha⁻¹), dois níveis de adubação nitrogenada em cobertura (0 e 30 kg de N.ha⁻¹) e dois níveis de adubação molibídica foliar (0 e 40 g de Mo.ha⁻¹). De maneira geral, houve efeito significativo dos três fatores sobre o rendimento de grãos e seus componentes, mas as interações não foram significativas. A aplicação foliar de molibdênio (40 g Mo.ha⁻¹) aumentou significativamente o rendimento de grãos, o número de vagens por planta e o peso de cem sementes, assim como os teores foliares de nitrogênio, cálcio e magnésio. A cultivar empregada foi a Carioca-MG e o aumento da produtividade, em função do molibdênio foliar, foi de até 40%, da mesma magnitude que o acréscimo atribuído ao nitrogênio em cobertura no mesmo estudo.

Andrade et al. (2001) e Andrade et al. (1998a) estudaram a magnitude da resposta do feijoeiro à aplicação foliar do molibdênio (40 g Mo/ha), 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 matéria 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%).

Vieira et al. (1998) observaram que a aplicação foliar de Mo em feijoeiro resultou na diminuição do número de nódulos tanto em solos de alta como de baixa fertilidade, mas aumentou-lhes o tamanho e peso, além de aumentar também a atividade da nitrogenase. Com relação à redutase do nitrato, esses autores verificaram maiores atividade e longevidade dessa enzima com a aplicação de Mo, propiciando aumento do teor e N na planta.

Silva et al. (1998) verificaram que as fontes molibdato de sódio e molibdato de amônio podem ser utilizadas, indistintamente, sobre o feijoeiro, dando mais uma alternativa para o emprego da técnica. Mais recentemente, Silva et al. (1999), constataram que a aplicação foliar de Mo pode ser associada à aplicação de outros defensivos (inseticidas, fungicidas e herbicidas pós-emergentes), com o objetivo de diminuir os custos e racionalizar o uso de equipamentos.

O teor de cobalto nos solos é bastante variado, sendo citado de 1 a 40 ppm, sendo a maior proporção retida em óxidos de Mn, Fe e Al. Na solução do solo têm sido citados teores variando entre 0.007 - 0.2 μ M. O cobalto extraído com ácido acético 2.5% é o considerado disponível às plantas; menos de 0.1 ppm de Co é indicação de deficiência. Calagem excessiva, teores elevados de Fe e Mn e pH elevado, conduzem à carência do elemento (Faquin, 1997).

Devido ao caráter anaeróbico da FBN – sensibilidade ao O₂ das duas proteínas da nitrogenase; auto-oxidação da ferredoxina e flavodoxina, que atuam como transportadores de elétrons – os nódulos ativos apresentam uma coloração avermelhada típica, que é devida à leghemoglobina, que tem a função de transportar o O₂ para o metabolismo oxidativo do qual se origina o ATP. Neste caso, o cobalto torna-se essencial ao processo – e conseqüentemente às leguminosas que dependem da FBN – pois sabe-se que o Co faz parte da estrutura das vitaminas B₁₂ e que estas são necessárias para a síntese da leghemoglobina (Faquin, 1997).

O cobalto está presente entre 0.02 e 0.5 ppm na matéria seca das plantas e atua favorecendo o crescimento do *Rizobium*, a fixação do N₂, faz parte da constituição da vitamina B₁₂ e suas coenzimas e também atua na formação da leghemoglobina (Mengel & Kirkby, 1987). O Co também é indispensável à própria FBN, havendo uma relação direta entre o suprimento deste

micronutriente e a formação de vitamina B₁₂ e leg-hemoglobina nos nódulos (Oliveira et al., 1996).

O cobalto, em quantidades extremamente baixas (0.25 a 2.0 g.ha⁻¹), é essencial para microorganismos fixadores de nitrogênio (Vieira, 1998). Junqueira Netto et al. (1977) obtiveram a campo, em Paula Cândido, na Zona da Mata de MG, um aumento de 100% na produção do feijão, com aplicação nas sementes de apenas 0.25 g de Co.ha⁻¹, na forma de solução.

Corrêa et al. (1990) estudando em casa-de-vegetação os efeitos de inoculante, molibdênio e cobalto aplicados na forma de solução, via sementes, sobre o feijoeiro comum cv. Carioca, verificaram que a aplicação do inoculante exerceu influência benéfica, contribuindo positivamente em todas as características avaliadas (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e produção de grãos por planta) e que a maior produção de grãos por planta foi alcançada, quando se aplicou 0,6 g.ha⁻¹ de cobalto respectivamente.

Entretanto, resultados sem resposta também são presentes na literatura. Castro et al. (1994), realizando tratamento de sementes de feijão com produtos que continham Co e Mo, não verificaram efeitos significativos na matéria seca das plantas, nos teores de N, S, Mo e Co da parte aérea e das sementes, na qualidade fisiológica das sementes e na produtividade de grãos. Estudando rizóbio, molibdênio e cobalto na cultura do feijoeiro, Vieira et al. (1994) aplicaram Co nas sementes e Gualberto et al. (1995) aplicaram Co via foliar; nenhum deles constatou efeitos significativos dos tratamentos sobre a produção de grãos. Outros estudos realizados em Minas Gerais também não evidenciaram efeito do Co (Barbosa Filho et al., 1979; Machado et al., 1979; Santos et al., 1979).

No comércio de adubos, existe uma série de recomendações em forma de “pacotes nutricionais”, para uso em diferentes culturas. Normalmente, esses “pacotes” são apresentados sob a forma de adubos para aplicação foliar e para o

tratamento de sementes, com o objetivo de aumentar a produtividade (Castro et al., 1994). Produtos comerciais contendo molibdênio e cobalto são usados por muitos agricultores nas regiões de feijão irrigado de Minas Gerais (Vieira et al., 1994), mesmo desconhecendo os seus resultados.

2.2.5 FBN e Nitrogênio do Solo

Conforme já mencionado, o estabelecimento eficiente da simbiose requer uma planta nutricionalmente equilibrada, ou seja, com disponibilidade adequada de macro e micronutrientes.

Dentre os macronutrientes, o N é o que apresenta comportamento mais complexo 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).

As principais formas que o N ocorre no solo são: N orgânico (integrante da matéria orgânica do solo e não disponível para a planta em crescimento), N amoniacal fixado pelos materiais argilosos (muito lentamente disponível para as plantas) e íons de amônio e nitrato ou compostos solúveis (o N que as plantas usam). 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). Conforme já comentado, através da mineralização, os componentes orgânicos se transformam em formas inorgânicas em duas etapas: amonificação, onde há formação de NH_4^+ , e nitrificação, com formação de NO_2^- e, posteriormente, NO_3^- (Fassbender, 1975).

Normalmente as deficiências de N ocorrem em solos arenosos lixiviados, por precipitação pesada ou irrigação excessiva, em solos com baixo teor de matéria orgânica (<2%) e em solos com longa história de cultivo, onde o suprimento de N foi exaurido. Também pode ocorrer deficiência temporária de N em solos férteis quando intensivamente cultivados, pesadamente lixiviados ou inundados (Oliveira et al., 1996).

Como já relatado, em se tratando de formas de fornecimento de nitrogênio (adubação nitrogenada x inoculação), na maioria dos trabalhos a adubação nitrogenada tem proporcionado maiores rendimentos médios de grãos para o feijoeiro (Peres et al., 1994; Andrade et al., 1998a; Andrade et al., 2001); no entanto existem trabalhos em que inoculação e adubação nitrogenada proporcionaram rendimentos semelhantes (Ferreira et al., 2000; Hungria et al., 2001). Quanto à nodulação tem-se observado redução no número de nódulos em presença de adubação nitrogenada (Mendonça et al., 1998; Mendes et al., 1998; Ferreira et al., 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três ensaios de campo em área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras-MG, nas safras inverno-primavera 2000, águas 2000/2001 e seca 2001, o solo onde foram conduzidos os experimentos é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (EMBRAPA, 1999). Os resultados de análises químicas de amostras do solo das áreas utilizadas (camada de 0-20 cm de profundidade) encontram-se na Tabela 1.

Lavras está situada na região sul do Estado de Minas Gerais, a 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste (Brasil, 1992), com topografia caracterizada pela dominância de relevo ondulado a forte ondulado e níveis altimétricos compreendidos entre 822 e 1249 metros em relação ao nível do mar (SEBRAE, 1998). As principais ocorrências climáticas nas três safras estudadas são apresentadas na Figura 1.

Em todas as áreas o preparo do solo constou de uma aração e duas gradagens leves. As adubações dos tratamentos com nitrogênio (N) mineral foram realizadas de acordo com a análise do solo e recomendações de Chagas et al. (1999), adotando-se o nível tecnológico 3. No caso das parcelas inoculadas e da testemunha absoluta (sem N e sem inoculação), as adubações fosfatada e potássica seguiram as mesmas recomendações, porém não se aplicou nitrogênio. Assim, por ocasião da semeadura empregou-se uma mistura dos fertilizantes superfosfato simples (na base de 70 kg.ha⁻¹ de P₂O₅), mais cloreto de potássio (na base de 30 kg.ha⁻¹ de K₂O) e, como fonte de N, apenas nos tratamentos que receberam N via adubação, utilizou-se uréia (na base de 30 kg.ha⁻¹ de N). Os fertilizantes foram distribuídos e misturados com o solo no fundo do sulco.

TABELA 1 - Resultados de análises químicas de amostras do solo utilizado nos experimentos (camada de 0-20 cm de profundidade). UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.¹

Característica	Safrá		
	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)	62,0 M	80,0 Bo	114,0 Bo
Ca trocável (cmol _c .dm ⁻³)	3,8 Bo	3,6 Bo	3,3 Bo
Mg trocável (cmol _c .dm ⁻³)	0,4 Ba	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)	4,4 Bo	4,4 Bo	4,5 Bo
t (cmol _c .dm ⁻³)	4,4 M	4,4 M	4,5 M
T (cmol _c .dm ⁻³)	8,0 M	7,6 M	7,1 M
m (%)	0,0 Mba	0,0 Mba	0,0 Mba
V (%)	54,8 M	58,2 M	63,3 Bo
Mat. orgânica (dag.kg ⁻¹)	3,3 M	3,4 M	3,5 M

¹Análises realizadas pelos Laboratórios do Departamento de Ciências do Solo da UFLA segundo a metodologia da EMBRAPA (1997) e interpretação de acordo com Alvarez V. et al. (1999). AcM=acidez média, AcF=acidez fraca, AcE=acidez elevada, Bo=teor bom, M=teor médio, Ba=teor baixo, Mba=teor muito baixo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições e os tratamentos foram dispostos em um esquema fatorial (4 x 2) + 3, envolvendo quatro doses de cobalto aplicadas via foliar (0, 1, 2 e 3 g.ha⁻¹ de Co, fonte cloreto de cobalto p.a.) e duas formas de fornecimento de nitrogênio (inoculação das sementes com rizóbio e adubação nitrogenada), mais três tratamentos adicionais: apenas inoculação das sementes com rizóbio, apenas adubação nitrogenada e testemunha absoluta (sem N e sem inoculação), conforme Tabela 2.

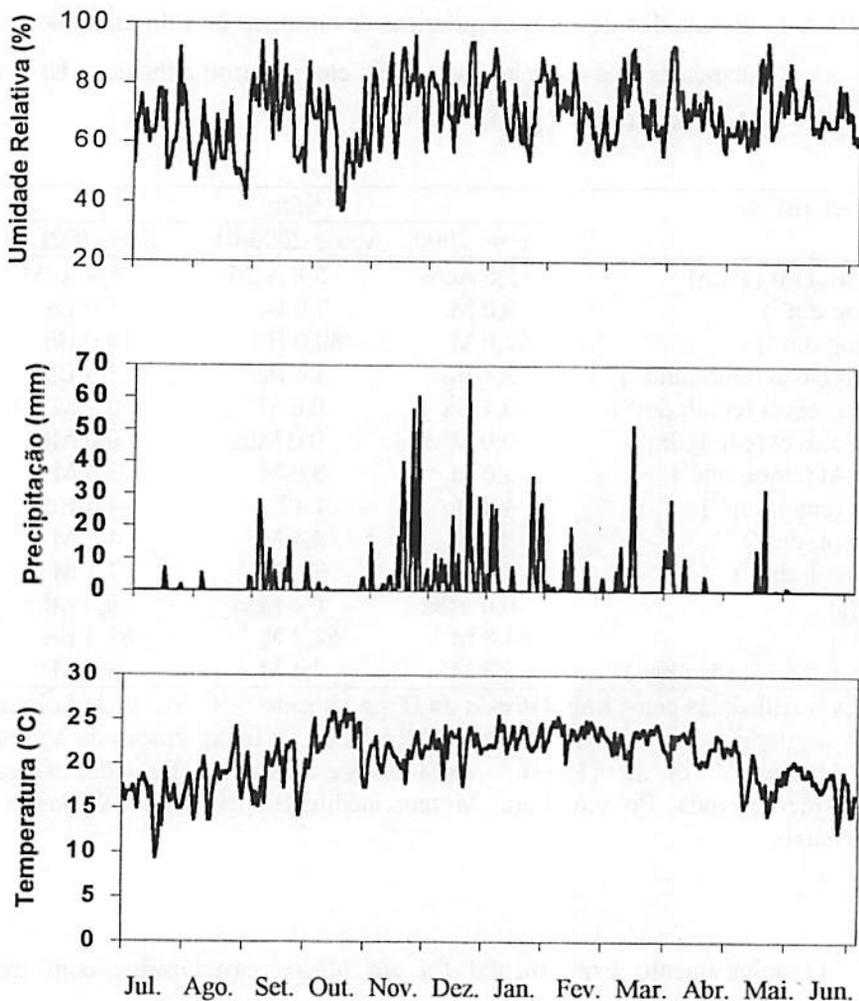


FIGURA 1. Variação diária da temperatura média, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, no período de julho de 2000 a junho de 2001. (Dados fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras-MG, situada no campus da UFLA, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET).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

TABELA 2 - Descrição detalhada dos tratamentos utilizados (T1 à T8 - fatorial e T9 à T11 - tratamentos adicionais). UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.

Nº	Formas de Fornecimento de N	Doses de Co (g.ha ⁻¹)	Mo foliar* (100g.ha ⁻¹)
T1	Inoculação	0	S
T2	Inoculação	1	S
T3	Inoculação	2	S
T4	Inoculação	3	S
T5	Adubação nitrogenada	0	S
T6	Adubação nitrogenada	1	S
T7	Adubação nitrogenada	2	S
T8	Adubação nitrogenada	3	S
T9	Apenas inoculação	0	N
T10	Apenas adubação nitrogenada	0	N
T11	Testemunha absoluta	0	N

* S = sim, N = não

As semeaduras foram realizadas em 29/07/2000, 02/12/2000 e 08/03/2001 e as colheitas em 31/10/2000, 22/02/2001 e 19/06/2001, respectivamente.

A inoculação das sementes foi realizada algumas horas antes do plantio, utilizando inoculante turfoso (300 g de inoculante : 25 kg de sementes) produzido pelo Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), a partir da estirpe BR322 (originalmente CIAT 899) de *Rhizobium tropici*, fornecida pelo Centro Nacional de Pesquisa em Biologia do Solo da EMBRAPA.

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

As aplicações foliares de cobalto nos experimentos de inverno-primavera, águas e seca ocorreram, respectivamente, aos 20, 25 e 21 dias após emergência dos feijoeiros (estádio V₄) e foram realizadas com pulverizador a pressão constante de CO₂ (45 lb.pol⁻²), para maior precisão das dosagens. Utilizou-se uma barra com quatro bicos tipo leque, espaçados de 50 cm entre si e com vazão de 250 L.ha⁻¹, adicionando-se 1 mL de espalhante adesivo Agral para cada litro de solução.

Nas mesmas datas em que foram realizadas as adubações foliares com Co, os tratamentos do fatorial receberam ainda 100 g.ha⁻¹ de Mo, via foliar, fonte molibdato de amônio p.a. (Silva et al., 1998) e a cobertura nitrogenada (30 kg de N.ha⁻¹ fonte uréia), esta apenas nos tratamentos que receberam N mineral no plantio.

Adotou-se espaçamento de 0,5 m entre linhas, profundidade de 5 cm e densidade de 16 sementes por metro linear, exceto na safra das águas onde foram semeadas 18 sementes por metro linear, como prevenção à ocorrência de fungos de solo. Cada parcela foi constituída por 4 linhas de 5 m de comprimento, perfazendo 10 m² de área total e 5 m² de área útil (2 linhas centrais).

A cultivar empregada foi a 'Pérola', de crescimento indeterminado, guias longas (hábito tipo II/III) e ciclo normal, grãos tipo carioca e resistente à mancha angular, ferrugem e mosaico comum (EMBRAPA, 1998).

O ensaio do inverno-primavera foi conduzido sob irrigação por aspersão convencional, com duas irrigações semanais até o ponto de maturidade fisiológica do feijoeiro. O ensaio das águas não foi irrigado, e o da seca recebeu apenas irrigações complementares.

Para o controle de plantas daninhas foram realizadas duas capinas manuais nos experimentos de inverno-primavera e águas, e apenas uma na seca, sempre antes do fechamento da cultura. Na seca houve infestação por cigarrinha

verde (*Empoasca kraemeri*), controlada com aplicação do inseticida Nuvacron 400, na dosagem de 1L do produto comercial por ha.

Dez dias após a emergência foi avaliado o estande inicial pela contagem do número de plantas na parcela útil, expresso em mil plantas.ha⁻¹.

Por ocasião do florescimento, quando 50% das plantas se encontravam em plena floração (estádio R₆), foram coletadas quatro plantas de cada parcela, a fim de se avaliar a nodulação no sistema radicular e a massa seca da parte aérea. Logo após a coleta da parte aérea das plantas, estas foram lavadas, secas e colocadas em sacos de papel e levadas a estufa de circulação forçada, à temperatura de 70-72 °C até atingir peso constante, quando foram pesadas em balança de precisão. O sistema radicular, coletado junto a um bloco de solo através de pá reta, foi lavado em água corrente sobre peneira de malha fina, avaliando-se a nodulação (quantidade e tamanho dos nódulos) através das escalas arbitrárias resumidas na Tabela 3.

TABELA 3 - Escalas arbitrárias empregadas na avaliação dos nódulos radiculares do feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.

Nota	Quantidade de nódulos	Nota	Tamanho dos 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.

Na colheita (estádio R₉) foram avaliados ainda o estande final e o rendimento de grãos. O estande final correspondeu ao número total de plantas na área útil da parcela, expresso em mil plantas por ha. O rendimento foi obtido após a colheita e trilha manual das plantas da área útil da parcela, pela pesagem dos grãos, sendo o resultado expresso em kg.ha⁻¹ e corrigido para 13% de umidade através da expressão:

$$P_c = \frac{P_0(100-U_0)}{87}$$

em que:

P_c = peso dos grãos corrigido para 13% de umidade;

P₀ = peso dos grãos logo após a trilha;

U₀ = umidade dos grãos (%) determinada pelo aparelho DOLE 400.

Os dados relativos a todas as variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância individual por ensaio, de acordo com esquema adaptado de Gomes (2000) e Yassin (2001) para experimentos fatoriais de dois fatores com tratamentos adicionais.

Posteriormente, dado que os quadrados médios residuais de cada ensaio (safras) foram semelhantes, foi realizada a análise de variância conjunta, de acordo com o esquema da Tabela 4, adaptado de Gomes (2000).

Os efeitos de formas de fornecimento de nitrogênio foram comparados pelo teste F, enquanto os efeitos de safras foram estudados através da comparação de médias pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Nos casos de significância para doses de Co, foram realizadas ainda análises de regressão para identificação dos modelos que melhor representassem as relações entre as variáveis em estudo (Gomes, 2000).

Para maior facilidade de interpretação e avaliação dos efeitos dos tratamentos, foram selecionados alguns contrastes de interesse (Tabela 5), os quais foram avaliados pelo teste F.

TABELA 4 - Resumo do esquema da análise de variância conjunta dos ensaios.
UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.

F. V.	G. L.
Safras (S)	2
Blocos d/ Safras	6
Doses de Co (Co)	3
Inoculação/Nitrogênio (I/N)	1
S x Co	6
S x I/N	2
Co x I/N	3
S x Co x I/N	6
Adicionais d/ Safras	6
Adicionais vs Fatorial d/ Safras	3
Resíduo Médio	60

TABELA 5 - Contrastes (Ci) de interesse selecionados para comparações envolvendo tratamentos adicionais (Ti). UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.

Ident.	Contraste	Descrição
C1	T9 vs T11	Apenas inoculação vs testemunha absoluta
C2	T10 vs T9+T11	Apenas adubação nitrogenada vs apenas inoculação + testemunha absoluta
C3	T10 vs T9	Apenas adubação nitrogenada vs apenas inoculação
C4	T10 vs T11	Apenas adubação nitrogenada vs testemunha absoluta
C5	T1 vs T9	Inoculação sem Co e com Mo vs apenas inoculação
C6	T5 vs T10	Adubação nitrogenada sem Co e com Mo vs apenas adubação nitrogenada
C7	T1 + T5 vs T9 + T10	Inoculação sem Co e com Mo + adubação nitrogenada sem Co e com Mo vs apenas inoculação + apenas adubação nitrogenada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 é apresentado um resumo da análise de variância conjunta das características avaliadas nos três ensaios. A análise revelou boa precisão experimental na estimativa das características do feijoeiro, já que os coeficientes de variação foram bastante satisfatórios, próximos dos normalmente obtidos com o feijoeiro em Minas Gerais (Abreu et al, 1994). O número e tamanho de nódulos foram estimados com menor precisão, o que também parece concordar com a literatura (Andrade et al., 1998a).

Observa-se que houve efeito significativo de safras sobre o estande inicial, massa seca da parte aérea e rendimento de grãos. A inoculação/adubação nitrogenada afetou significativamente os estandes inicial e final, a massa seca da parte aérea, o tamanho de nódulos e o rendimento. A interação safras x doses de cobalto influenciou significativamente somente o rendimento de grãos, enquanto a interação safras x inoculação/adubação nitrogenada influenciou o rendimento e a massa seca da parte aérea (Tabela 6).

TABELA 6 – Resumo da análise de variância conjunta (quadrados médios) dos dados relativos ao estande inicial, massa seca da parte aérea, nodulação (número e tamanho de nódulos), estande final e rendimento de grãos do feijoeiro cv. Pérola. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.

Fonte Variação	Graus Liberdade	Estande Inicial	Massa Seca	Número Nódulos	Tamanho Nódulos	Estande Final	Rendimento Grãos
Safra (S)	2	39973,62*	3813,29*	2,21	3,30	3876,40	21517829,94**
Blocos d/ Safra	6	1446,83	81,88	1,14	2,41	2832,42	89266,61
Doses de Co (Co)	3	308,59	30,68	1,05	0,61	280,65	181312,46
Inoc./Nitr. (I/N)	1	882,00*	1533,93**	0,35	7,35**	7320,50**	1250571,13**
S x Co	6	153,98	55,99	0,55	0,97	604,54	372213,88*
S x I/N	2	450,17	202,90*	0,51	1,51	813,50	804854,29**
Co x I/N	3	84,22	13,64	0,42	1,42	433,98	244372,61
S x Co x I/N	6	147,94	21,44	0,53	0,20	586,98	182190,16
Adic. d/ S	6	135,70	80,74	1,30	2,00	987,56	406607,52*
Adic. x Fat. d/ S	3	73,66	60,80	1,67	0,73	210,90	59566,59
Res. Médio	60	152,52	58,59	0,93	0,97	533,60	134335,48
C.V. (%)	-	5,65	28,99	43,98	39,12	10,89	19,87

** , * Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Na Tabela 7 são apresentados os valores médios das características avaliadas em função das safras, doses de cobalto, formas de fornecimento de nitrogênio e tratamentos adicionais.

As médias dos tratamentos de alguns contrastes selecionados são apresentadas na Tabela 8.

TABELA 7 – Valores médios (análise conjunta) do estande inicial, massa seca da parte aérea, nodulação, estande final e rendimento de grãos do feijoeiro cv. Pérola. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.*

Fatores	Estande Inicial (mil.ha ⁻¹)	Massa Seca g.(4pl.) ⁻¹	Nodulação		Estande Final (mil.ha ⁻¹)	Rendim. Grãos (kg.ha ⁻¹)
			Nº	Tam.		
Safras:						
Inverno	267 b	32,22 a	2,48	2,48	243	1726 b
Águas	319 a	14,91 b	1,97	3,00	260	1101 c
Seca	265 b	34,61 a	2,27	2,45	239	2703 a
Doses de Co:						
0 g.ha ⁻¹	281	28,36	2,39	2,56	242	1790
1 g.ha ⁻¹	279	29,21	2,67	2,78	248	1837
2 g.ha ⁻¹	289	26,17	2,22	2,33	245	1829
3 g.ha ⁻¹	283	28,39	2,11	2,61	252	2015
N:						
Inoculação	280 b	23,42 b	2,42	2,89 a	237 b	1736 b
Adução	286 a	32,65 a	2,28	2,25 b	257 a	1999 a
Adicionais:						
Apenas inocul.	285	25,65	2,00	3,33 a	240 b	1733 ab
Apenas adub.	290	28,00	2,22	2,11 b	266 a	2042 a
Test. Absoluta	280	21,76	1,67	3,00 ab	240 b	1558 b
Médias gerais	284	27,25	2,24	2,64	247	1843

* Em cada coluna, dentro de cada fator, médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 8 - Valores médios (análise conjunta) do estande inicial, massa seca da parte aérea, nodulação, estande final e rendimento de grãos do feijoeiro cv. Pérola em função de contrastes selecionados. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.*

Identificação/ Contraste	Estande Inicial (mil.ha ⁻¹)	Massa Seca g.(4pl.) ⁻¹	Nodulação		Estande Final (mil.ha ⁻¹)	Rendim. Grãos (kg.ha ⁻¹)	
			Nº	Tam.			
C1	T9	285	25,65	2,00	3,33	240	1733
	T11	280	21,76	1,67	3,00	240	1558
C2	T10	290	28,00	2,22	2,11 b	266 a	2042 a
	T9+T11	282	23,71	1,84	3,17 a	240 b	1645 b
C3	T10	290	28,00	2,22	2,11 b	266 a	2042
	T9	285	25,65	2,00	3,33 a	240 b	1733
C4	T10	290	28,00	2,22	2,11	266 a	2042 a
	T11	280	21,76	1,67	3,00	240 b	1558 b
C5	T1	280	23,93	2,56	3,11	239	1693
	T9	285	25,65	2,00	3,33	240	1733
C6	T5	281	32,78	2,22	2,00	246	1887
	T10	290	28,00	2,22	2,11	266	2042
C7	T1+T5	281	28,36	2,39	2,56	242	1790
	T9+T10	287	26,83	2,11	2,72	253	1888

* Em cada coluna, e para cada contraste, médias seguidas por letras distintas diferem significativamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

4.1 Estande Inicial

O estande inicial médio correspondeu a uma densidade populacional de 284 mil plantas.ha⁻¹ (Tabela 7), enquadrando-se portanto, dentro das recomendações para a cultura. Como era de se esperar, as doses de cobalto, aplicadas via foliar aos 20-25 dias após a emergência dos feijoeiros, não influenciaram o estabelecimento inicial da cultura (Tabela 7). A safra das águas

apresentou maior estande inicial (Tabela 7), o que logicamente decorreu da maior quantidade de sementes semeadas ($18 \text{ sementes.m}^{-1}$). Ao que tudo indica, nesta safra a estratégia de usar maior densidade, prevenindo a alta probabilidade de perda de plantas foi bem sucedida, pois obteve-se uma boa população inicial.

O estande inicial mostrou-se ligeiramente superior nos tratamentos adubados com nitrogênio (cerca de 2,0%) em relação aos tratamentos inoculados (Tabela 7). Essa diferença, apesar de significativa, foi de pequena magnitude e pode ter sido detectada em função do baixo coeficiente de variação observado (Tabela 6). Entretanto, neste tipo de solo, a ausência de fertilizante nitrogenado tem frequentemente sido responsável por baixa sobrevivência inicial de plantas e pequeno “arranque inicial” da lavoura (Andrade, 1998b).

Quanto aos contrastes (Tabela 8), verifica-se que o estande inicial pouco variou. A maior diferença deu-se entre a testemunha absoluta e o tratamento adubado com N mineral, mas ainda assim, sem significância (Tabela 8).

4.2 Massa Seca da Parte Aérea

A adubação foliar com Co não influenciou o crescimento vegetativo das plantas, mas de maneira geral, as safras de inverno e seca apresentaram maiores acúmulos de massa seca na parte aérea por ocasião do florescimento (etapa R₆) que a das águas.

No entanto, este efeito mostrou-se dependente da forma de fornecimento de N (Tabelas 7 e 9). Verifica-se na Tabela 9 que a adubação e inoculação apresentaram crescimento semelhante nas águas, mas a adubação nitrogenada proporcionou maior acúmulo de massa seca no inverno (62,3%) e na seca (23%). Este resultado pode significar que o rizóbio não propiciou nodulação suficiente, ou que a FBN não foi eficiente o bastante para suprir satisfatoriamente as plantas

com N nas duas safras. Por outro lado, a semelhança de comportamento da inoculação e adubação constatada no crescimento na safra das águas poderia ter sido resultante das maiores adições naturais de N no período chuvoso ou de maior lixiviação do N do fertilizante.

Observando-se, entretanto, a magnitude da massa seca acumulada em cada safra, verifica-se que nas águas foi menor o crescimento das plantas. Este fato leva a considerar o veranico ocorrido na região (deve-se lembrar que o ensaio não foi irrigado). O déficit hídrico (Figura 1) certamente prejudicou a absorção de N (principalmente via adubação), fazendo com que as plantas inoculadas ou adubadas com N se comportassem de maneira semelhante quanto ao acúmulo de massa seca na parte aérea. Porém, a tendência ainda continuou sendo de um maior acúmulo de massa seca quando se fez adubação nitrogenada.

TABELA 9 - Valores médios da massa seca da parte aérea (g por 4 plantas) do feijoeiro cv. 'Pérola' em função de safras e formas de fornecimento de nitrogênio. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.*

N	Safr			Média
	Inverno	Águas	Seca	
Inoculação	25,33 b A	13,50 a B	31,42 b A	23,42 b
Adubação	41,11 a A	18,18 a B	38,65 a A	32,65 a
Média	33,22 A	15,84 B	35,04 A	28,03

* Dentro de cada fator, médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram encontrados por Mendonça et al. (1998) e Andrade et al. (1998a), mas discordam dos resultados de Mendes et al. (1998) e Ferreira et al. (2000), onde a simbiose feijoeiro-rizóbio foi capaz de fixar N atmosférico e suprir as necessidades das plantas, proporcionando desenvolvimento semelhante àquelas que receberam adubação nitrogenada.

Observando-se as comparações efetuadas pelos contrastes da Tabela 8, verifica-se que não houve efeito significativo de nenhum deles em relação à massa seca.

4.3 Nodulação

Os valores médios das notas atribuídas à nodulação estão apresentados nas Tabelas 7 e 8. Não foram observadas diferenças significativas quanto à quantidade de nódulos, indicando que aparentemente todos os tratamentos, bem como todas as safras, apresentaram o mesmo comportamento. Este resultado pode ser um indicador de que nas áreas utilizadas o solo era rico em bactérias nativas, capazes de nodular o feijoeiro, revelando assim uma característica da maioria dos solos brasileiros, de acordo com Arf et al. (1991), Fornasier Filho et al. (1988b), Mercante et al. (19...) e Hungria et al. (2001). Estes resultados divergem dos obtidos por Mendonça et al. (1998), Mendes et al. (1998) e Ferreira et al. (2000), os quais observaram diminuição da nodulação em presença de adubação nitrogenada.

No entanto, o tamanho dos nódulos foi influenciado pela inoculação/adubação nitrogenada (Tabela 6). Quando se realizou inoculação das sementes do feijoeiro com a estirpe Br322 de *Rhizobium tropici* os nódulos apresentaram-se maiores (Tabela 7), indicando que a estirpe inoculada proporcionou a formação de nódulos maiores que os das estirpes nativas e/ou

que a adubação nitrogenada prejudicou o crescimento dos nódulos. É provável que tenha acontecido as duas situações, pois verifica-se através dos contrastes (Tabela 8) e também pela Tabela 7 que, apesar da não significância, a nota da testemunha absoluta (3,00) situou-se de maneira intermediária entre a nota de ‘apenas inoculação’ (3,33) e a nota de ‘apenas adubação nitrogenada’ (2,11).

4.4 Estande Final

O estande final médio correspondeu a 247 mil plantas.ha⁻¹, evidenciando uma sobrevivência média de 87% em relação ao estande inicial médio de 284 mil plantas.ha⁻¹ (Tabela 7), índice considerado normal para o feijoeiro.

A estratégia de aumento da densidade de semeadura na safra das águas significou maior estande inicial, porém, não resultou em estande final significativamente superior (Tabela 7). Isto já era esperado, pois o histórico da área indicava incidência de fungos de solo e as condições climáticas nesta safra são mais propícias à perda de plantas em função desses patógenos.

As diferentes doses de cobalto aplicadas via foliar, assim como as safras, não influenciaram o estande final. A adubação nitrogenada, entretanto, proporcionou maior sobrevivência das plantas que os tratamentos inoculados (90% contra 85%), resultando em estande final significativamente superior (Tabela 7).

Menor estande final na dose zero de N é um fato que tem sido observado em outros ensaios neste tipo de solo, principalmente na safra de inverno (Andrade et al., 1998b; Teixeira et al., 2000), quando são mínimas as adições de N através das chuvas (Figura 1).

4.5 Rendimento de Grãos

Verifica-se na Tabela 7 que o rendimento médio de grãos obtido nos três ensaios (1843 kg.ha^{-1}) foi muito superior ao rendimento médio da cultura em Minas Gerais, o qual está em torno de 659 kg.ha^{-1} (Andrade & Ramalho, 1999). Analisando individualmente cada safra, observou-se excelente produtividade nas águas (1101 kg.ha^{-1}) e na seca (2703 kg.ha^{-1}), já que as médias mineiras de rendimento nessas safras são de 520 e 614 kg.ha^{-1} , respectivamente; no entanto, a produtividade do inverno (1726 kg.ha^{-1}) situou-se bem próxima da média de Minas Gerais na referida safra, 1747 kg.ha^{-1} (Andrade & Ramalho, 1999).

Considerando que a ocorrência de chuvas na colheita, frequente na região, é o fator que mais limita a produtividade nas águas (Andrade et al., 1992), o elevado rendimento de grãos obtido nesta safra pode ter resultado de boas condições climáticas, por ocasião da maturação, ou R_9 (Figura 1). De maneira geral, a safra da seca apresentou maiores rendimentos médios de grãos que a safra de inverno, fato que normalmente não ocorre na região, e esta superou a das águas (Tabela 10). O alto rendimento na seca pode ser atribuído às irrigações complementares e também às propriedades químicas do solo, ligeiramente superiores nesta safra (Tabela 1), bem como a menor incidência de pragas e doenças da cultura e o fato de que a área se encontrava em pousio à alguns anos, pode ter influenciado.

O rendimento de grãos do feijoeiro mostrou-se dependente das formas de fornecimento de N, sendo diferenciado nas diversas safras (Tabela 10). Os rendimentos com adubação nitrogenada e inoculação não diferiram nas águas e seca, mas a adubação nitrogenada proporcionou um maior rendimento no inverno (44,5%). Nas águas, embora sem diferença significativa, houve certa tendência da adubação nitrogenada proporcionar maior rendimento (Tabela 10), da mesma forma já verificada no caso da massa seca da parte aérea (Tabela 9).

Desta forma as médias de rendimento do fatorial foram influenciadas e também diferiram significativamente.

Para explicar o comportamento semelhante do rendimento nas safras das águas e da seca, duas linhas de raciocínio poderiam ser adotadas. Uma seria no sentido de encontrar razões para justificar o bom funcionamento da FBN e a outra seria procurar razões para o não funcionamento da adubação nitrogenada.

A primeira linha poderia ser melhor utilizada se os resultados da nodulação fossem mais favoráveis à inoculação, o que não ocorreu. As notas atribuídas ao número de nódulos não diferiram entre os tratamentos adubados e inoculados. Apenas o tamanho dos nódulos parece ter sido favorecido pela inoculação.

Outro argumento a favor do melhor desempenho da FBN nas águas e na seca poderia ser o valor do pH, mais elevado nestas duas safras (entre 5,8 e 5,9). Como é sabido, a acidez do solo afeta não só o rizóbio, mas também o hospedeiro e o próprio processo simbiótico (Vargas & Graham, 1998).

TABELA 10 – Rendimento médio de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) do feijoeiro cv. ‘Pérola’ em função de safras e formas de fornecimento de nitrogênio. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.*

N	Safr			Média
	Inverno	Águas	Seca	
Inoculação	1430 b B	1012 a C	2766 a A	1736 b
Adubação	2067 a B	1261 a C	2670 a A	1999 a
Média	1749 B	1137 C	2718 A	1868

* Dentro de cada fator, médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Dentro da segunda linha de raciocínio, poderia ser argumentado que nas águas as chuvas poderiam ter causado maior lixiviação do N do fertilizante ou que o veranico ocorrido poderia ter impedido uma absorção normal do N. Na seca, o excepcional crescimento vegetativo da parte aérea nas parcelas adubadas com N poderiam ter levado a obter-se rendimentos comparáveis aos das parcelas inoculadas.

Quando se comparou testemunha absoluta com adubação nitrogenada na ausência de Mo e Co via foliar (C3, Tabela 8), o resultado também foi favorável à adubação. No entanto, ao se comparar a inoculação com a testemunha absoluta, sem N e sem inoculação (C1, Tabela 8), apesar de não serem detectadas diferenças significativas, a inoculação proporcionou um certo acréscimo no rendimento (11%). Isto, de certa forma assemelha-se aos resultados de Peres et al. (1994), onde os ganhos de produtividade com a inoculação foram intermediários à testemunha e adubação nitrogenada; naquela situação, entretanto, os ganhos devidos à inoculação foram significativos.

No presente trabalho, o mais provável é que o rizóbio não tenha proporcionado nodulação suficiente, capaz de suprir adequadamente as plantas com N, mas proporcionou um rendimento intermediário (1733 kg.ha^{-1}) entre adubação nitrogenada (2042 kg.ha^{-1}) e testemunha absoluta (1558 kg.ha^{-1}) (Tabelas 7 e 8).

Quanto ao comportamento dos tratamentos adicionais verifica-se na Tabela 11, que foi diferenciado nas diversas safras. Observa-se que na seca os rendimentos foram semelhantes e que no inverno e nas águas a adubação nitrogenada proporcionou rendimentos significativamente superiores aos da inoculação e testemunha absoluta (Tabela 11), comprovando mais uma vez os benefícios da adubação nitrogenada.

TABELA 11 – Rendimento médio de grãos (kg.ha⁻¹) do feijoeiro cv. ‘Pérola’ em função dos tratamentos adicionais dentro de safras. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.*

Tratamentos Adicionais	Safrá		Média	
	Inverno	Águas		Seca
Apenas inoculaç.	1430 b	912 b	2858 a	1733
Apenas adub. N	2320 a	1255 a	2551 a	2042
Testemunha	1247 b	848 b	2578 a	1558

* Dentro de cada fator, médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Estes resultados benéficos da adubação nitrogenada estão de acordo com a maioria dos ensaios conduzidos no Estado. De acordo com levantamento realizado por Vieira (1998), 61% dos ensaios de campo conduzidos em Minas Gerais apresentaram resposta positiva à aplicação de N.

Ainda observa-se através dos contrastes C5, C6 e C7 (Tabela 8), que a aplicação de Mo não afetou o rendimento e demais características avaliadas no feijoeiro, tanto adubado com N como inoculado. Uma das razões pode ter sido o fato dos ensaios terem sido conduzidos em solos com pH corrigido (Tabela 1). Sabe-se que a deficiência de Mo no solo geralmente é ligada a pH menor do que 5,5 e, desde que haja Mo nativo no solo, sua disponibilidade pode ser aumentada pela calagem (Milléo et al., 1999; Faquin, 1997), diminuindo assim a probabilidade de resposta à adição de Mo (Jones, 1957; Catani et al., 1970; Siqueira, 1976; Siqueira & Veloso, 1978; Santos, 1991; Rodrigues et al., 1996).

Apesar da adubação foliar com Co não ter influenciado o acúmulo de massa seca no feijoeiro por ocasião do florescimento, a mesma influenciou o rendimento de grãos, o qual apresentou comportamento diferenciado nas diferentes épocas de semeadura (Figura 2). As doses de Co não influenciaram o rendimento nas águas, safra que menor rendimento apresentou. A adição de

doses crescentes de Co via foliar na safra de inverno aumentou linearmente esta variável representando, com a maior dose empregada, acréscimos da ordem de 44,8% no rendimento em relação à dose zero. Na seca, com o acréscimo das doses houve pequena queda no rendimento, o qual, entretanto voltou a aumentar com o incremento da dose de Co, atingindo um ponto de mínimo rendimento com a dose estimada de 1,27 g.ha⁻¹ de Co. Nestas duas últimas safras as equações de regressão linear e quadrática apresentaram bons ajustes, explicando respectivamente, 87% e 89% das variações ocorridas nos rendimentos em função das doses de Co.

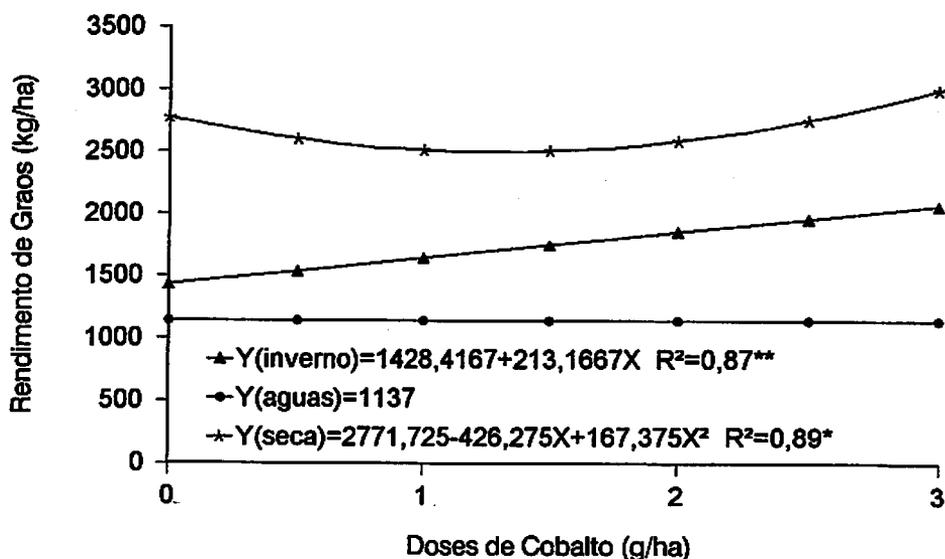


FIGURA 2 – Representação gráfica do rendimento de grãos do feijoeiro, cv. Pérola, em função de doses de Co aplicadas via foliar, nas três safras. UFLA, Lavras-MG, 2000/2001.

Provavelmente as doses de Co via foliar utilizadas foram baixas para a obtenção de respostas positivas à aplicação do micronutriente na seca, ou seja, nesta safra o Co somente pareceu começar a provocar efeito na produção do feijoeiro à partir da maior dose empregada (3 g.ha^{-1}). É provável que a disponibilidade de Co no solo era baixa, uma vez que quanto mais elevado o pH do solo, maior é a probabilidade de carência do elemento no mesmo (Faquin, 1997; Milléo et al., 1999). Deve-se lembrar que a seca foi a safra de maiores rendimentos médios e plantas mais desenvolvidas e assim, certamente a necessidade de Co também foi maior, ou seja, uma planta que cresce mais e produz mais, requer maiores quantidades de nutrientes para suprir adequadamente suas exigências. Com aplicação de doses acima de 3 g.ha^{-1} , é provável que o comportamento do rendimento seria diferente.

Observa-se que no inverno, mesmo trabalhando com a maior dose (3 g.ha^{-1}), não se alcançaram efeitos máximos, ou seja, é possível que o rendimento de grãos continuaria a aumentar com o aumento da dose. Nesta safra, a equação de regressão permite estimar que houve um acréscimo médio no rendimento de 213 kg.ha^{-1} para cada grama de Co.ha^{-1} adicionado via foliar na cultura, o que representa bons ganhos de produtividade a custos praticamente insignificantes.

Apesar da maioria das aplicações de Co na cultura do feijoeiro não serem realizadas via foliar e sim via sementes, e de ainda existirem grandes variações entre os resultados de pesquisa, outros trabalhos como os de Junqueira Neto et al. (1977) e Corrêa et al. (1990), também obtiveram respostas positivas à aplicação do micronutriente nas sementes.

5 CONCLUSÕES

O emprego de doses crescentes de cobalto, no intervalo de 1 a 3 g.ha⁻¹, não afeta o crescimento do feijoeiro e nem a nodulação radicular.

Nas safras da seca e do inverno as maiores doses de cobalto elevaram o rendimento de grãos do feijoeiro, sem entretanto atingir pontos de máxima produção.

A adubação nitrogenada reduz o tamanho dos nódulos.

A adubação nitrogenada proporciona maior crescimento vegetativo e maior rendimento de grãos do feijoeiro que a inoculação.

A existência de população expressiva de rizóbio nativo pode ter restringido o efeito da FBN das plantas pela estirpe inoculada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. de 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.29, n.1, p.105-112, jan. 1994.
- ALVAREZ, V.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. 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**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG, 1999. p. 25-32.
- AMANE, M.I.V.; VIEIRA, C.; CARDOSO, A.A.; ARAÚJO, G.A. de A. Resposta de cultivares de feijão às adubações nitrogenada e molibdica. **Revista Ceres**, Viçosa, v.41, n.234, p.202-216, 1994.
- ANDRADE, M.J.B. de; ABREU, A. de F.B.; RAMALHO, M.A.P. **Recomendações para a cultura do feijoeiro em Minas Gerais**. Lavras: ESAL, 1992. 12p. (Circular, 6).
- ANDRADE, M.J.B. de; ALVARENGA, P.E.; SILVA, R. da; CARVALHO, J.G. de; JUNQUEIRA, A.D. de A. Resposta do feijoeiro às adubações nitrogenada e molibdica e à inoculação com *Rhizobium tropici*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.4, p.934-940, jul./ago., 2001.
- ANDRADE, M.J.B. de; 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, jan./fev. 1998a.
- ANDRADE, M.J.B. de; DINIZ, A.C.; CARVALHO, J.G. de; LIMA, S.F. de. 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., 1998b.
- ANDRADE, M.J.B. de; RAMALHO, M.A.P. **A Cultura do feijoeiro-comum no curso de agronomia**. Lavras: UFLA, 1999, 108p. (Mimeografado)



ANDRADE, M.J.B. de; RAMALHO, M.A.P. **Cultura do Feijoeiro**. “Curso de Atualização Técnica para Engenheiros Agrônomos do Banco do Brasil”. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo / EMBRAPA, Sete Lagoas - MG, maio de 1995. 97p.

ARAÚJO, P.R. de A. **Combinações de doses de nitrogênio e molibdênio na adubação da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 56p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ARAÚJO, R.S.; HENSON, R.A. Fixação biológica de nitrogênio. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p.213-227.

ARF, O.; FORNASIERI FILHO, D.; MALHEIROS, E.B.; SAITO, S.M.T. Efeito da inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Carioca 80. I. Solo de alta fertilidade. **Científica**, Piracicaba, v.19, p.29-38, 1991.

BARBOSA FILHO, M.P.; JUNQUEIRA NETTO, A; GUEDES, G.A de A; REZENDE, P.M. de. 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.

BARBOSA FILHO, M.P.; SILVA, O.F. da. Adubação de cobertura do feijoeiro irrigado com uréia fertilizante em plantio direto: um ótimo negócio. POTAFOS – Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, n.93, p.1-5, mar.2001.

BERGER, P.G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G.A.A.T.A. Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31 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. 159p.

BUERKET, A.; CASSIMAN, K.G.; PIEDRA, C.; MUNNS, D.N. Soil acidity and liming effects on stand, nodulation and yield of common bean. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.4 p.749-754, Jul./Dec. 1990.

CAMARGO, M.B. Avaliação de genótipos de feijoeiro comum em resposta à inoculação com *Rhizobium* e nitrogênio em cobertura. 1998. 66p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de São Paulo, Jaboticabal.

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.

CASTRO, A.M.C.; BOARETTO, A.E.; NAKAGAWA, J. Tratamento de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com molibdênio, cobalto, metionina e vitamina B1. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v.16, n.1 p.26-30, 1994.

CASTRO, J.R.P. de. Nitrogênio para a soja. Seed News, Pelotas, n.7, set./out., 1998.

CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C.; FURLANI, P.R. Adsorção de molibdênio pelo solo. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba: v.27, p.223-227, 1970.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Sistemas de producción de frijol. Cali, 1976.

CHAGAS, J.M.; BRAGA, J.M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L.T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G.A. de A.; ANDRADE, M.J.B. de; 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.306-307.

COLETTA FILHO, H.D. Avaliação da fixação biológica do N₂ em genótipos de feijoeiro. 1993. 72p. Dissertação (Mestrado em energia nuclear na agricultura) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª Aproximação. Lavras, 1989. 176p.

CORRÊA, J.R.V.; JUNQUEIRA NETTO, A.; REZENDE, P.M. de; ANDRADE, L.A. de B. Efeitos de *Rhizobium*, molibdênio e cobalto sobre o feijoeiro comum cv. Carioca. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 25 p.513-519, 1990.

DENARDIN, N.D. Seleção de estirpes de *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli tolerantes a fatores de acidez e resistentes a antibióticos. 1991. 89p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

DUQUE, F.F.; NEVES, M.C.P.; FRANCO, A.A.; VICTÓRIA, R.; BODDEY, R.M. The response of field grow *Phaseolus vulgaris* to *Rhizobium* inoculation and the qualification of N₂ fixation using ¹⁵N. Plant and soil, The Hague, v. 88, p.333-343, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão. Informativo Anual das Comissões Técnicas Regionais de Feijão: cultivares de feijão recomendadas para plantio no ano agrícola 1998/99. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1998. 29p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos - Brasília: EMBRAPA. Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999. 412p.

EVANS, J.; SCOTT, N.; LIL, W.J. Manganese tolerance in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) genotypes grown with ammonium nitrate or symbiotic nitrogen. Plant and Soil, The Hague, v.97, p.207-15, 1987.

FAGIANI, C.C. Análise da interação *Rhizobium tropici*-feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): uso da estirpe CM-225 Gus+. 1995. 69p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 227p. Curso de pós-graduação “lato sensu” (especialização) a distância: solos e meio ambiente.

- FASSBENDER, H.W. **Química de suelos: com ênfasis en suelos de América Latina.** Turrialba: IICA, 1975. 398p.
- FERREIRA, A.N.; ARF, O.; CARVALHO, M.A.C. de; ARAÚJO, R.S.; SÁ, M. E. de; BUZETTI, S. Estirpes de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.57, n.3, p.507-512, jul./set. 2000.
- FORNASIERI FILHO, D.; BELLINGIERI, P.A; VITTI, G.C.; MALHEIROS, E.B.; HORIZIENTE, E.C. Efeitos da inoculação com *Rhizobium phaseoli*, de fertilizantes às sementes e nitrogênio mineral na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) Carioca 80 das “águas”. *Científica*, Piracicaba, v.16, p.229-238, 1988a.
- FORNASIERI FILHO, D.; MALHEIROS, E.B.; VITTI, G.C.; MASSARI, C.A. FORNASIERI, J.L. Efeitos da inoculação com *Rhizobium phaseoli*, e do fornecimento do molibdênio na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca. *Científica*, Piracicaba, v.16, p.271-279, 1988b.
- FOX, R.H.; HOFFMAN, L.D. The effect of fertilizer source on grain yield, N uptake, soil pH, and lime requirement in no-till corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.73, p.891-895, 1981.
- FRANCO, A.A. **Acidity factours limiting nodulation, nitrogen fixation, and growth of *Phaseolus vulgaris* L.** 1981. 143p. (Thesis, PhD) Universtity of California, Davis.
- FRANCO, A.A.; MUNSS, D.N. Acidity and aluminum restraints on nodulation, nitrogen fixation, and growth of *Phaseolus vulgaris* in solution culture. *Soil Science Society of American Journal*, Baltimore, v.46, p.296-301, 1982.
- FRANCO, A.A. Nutrição nitrogenada na cultura do feijoeiro. *Informações Agronômicas*. Piracicaba, n.70, p.3-6, 1995.
- FRANCO, A.A.; PEREIRA, J.C.; NEYRA, C.A. Season patterns of nitrate reductase and nitrogenase activities in *Phaseolus vulgris* L. *Plant Physiology*, Baltimore, v.63. p.421-424, 1979.
- FRIZZONE, J.A.; ZANINI, J.R.; MÊS, L.A.D.; NASCIMENTO, V.M.do. **Fertirrigação mineral.** Ilha Solteira: UNESP, 1985. 31p. (Boletim Técnico, 2).
- 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.

GRAHAM, P.H.; VITERI, S.E.; MACKIE, F.; VARGAS, A.T.; PALACIOS, A. Variation in acid soil tolerance among estrains of *Rhizobium phaseoli*. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.5, p.121-128, 1982.

GUALBERTO, R.; OLIVEIRA, P.S.R. de; LANA, M.M. Efeitos de *Rhizobium*, molibdênio, cobalto e da adubação nitrogenada sobre o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) UNIMAR - Ciências, Marília, v.4, n.1, p.34-41, 1995.

HUNGRIA, M.; FRANCO, A.A.; SPRENT, J. New sources of high temperature tolerant rizophobia for *Phaseolus vulgaris*. *Plant and Soil*, The Hague, v.149, p.103-109, 1993.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; MENDES, I. Técnicas e Tecnologias - melhore seu feijão, use mais inoculantes. *Informativo Nitral Urbana*. Pinhais-PR, n.9, p.3. 2001.

JONES, L.H.P. The solubility of molybdenum in simplified sytems and aqueous suspensions. *Journal of Soil Science*, Edinburgh: v.8, n.2, p.313-327, 1957.

JORDAN, D.C. Family III Rhizobiaceae Conn. 1938, 3 a 1 AL. In: KRIEG, N.R.; HOLT, J.G. (ed). *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Baltimore: The Williams and Wilkins Co., 1984. p.234-54.

JUNQUEIRA NETTO, A.; SANTOS, O.S. dos; AIDAR, H.; VIEIRA, C.; Ensaio preliminares sobre a aplicação de molibdênio e cobalto na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres*, Viçosa, v.24, p.628-633, 1977.

LAGUERRE, G.; GENIAUX, E.; MAZURIER, S.I.; CASARTELLI, R.R.; AMARGER, N. Conformity and diversity among field isolates of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, bv. *trifolii*, and bv. *phaseoli* rencaled by DNA hylnidization using chromosome and plasmid probes. *Canadian Journal of Microbiology*, Ottawa, v.39, p.4112-4119, 1993.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.3, p.345-352, 1990.

LIMA, M.H. Eficiência da fixação simbiótica do nitrogênio x evolução do H₂ x respiração dos nódulos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 1981. 190p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.

LOPES, A.S. (trad.) Manual de fertilidade do solo. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

LOWENDORF, H.S.; ALEXANDER, M. Identification of Rhizobium phaseoli strains that are tolerant or sensitive to soil acidity. *Applied Environmental Microbiology*, Washington, v.45, n.3 p.737-742, May 1983.

MACHADO, J.; JUNQUEIRA NETTO, A; GUEDES, G.A de A; REZENDE, P.M. de. 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.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ-ROMERO, E.; SEGÓVIA, L.; MERCANTE, M.F.; FRANCO, A.A.; GRAHAM, P.H.; PARDO, M.A. Rhizobium tropici, a novel species for nodulation of *Phaseolus vulgaris* beans and *Leucaena* sp. trees. *International Journal of Systematic Bacteriology*, Washington, v.41, p.417-426, 1991.

MENDES, L.C.; VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. Adubação nitrogenada e inoculação do feijoeiro em solo dos cerrados. 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 BILOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambú. Resumos. Caxambú: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.181.

MENDONÇA, L.F.; MARQUES, E.M.G.; ARAÚJO, R.S. Resposta do feijoeiro a cinco estirpes de rizóbio e à adubação nitrogenada no estado do Espírito Santo. 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 BILOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambú. Resumos. Caxambú: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.200.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Bern: Internrtional Potash Institute, 1987. 687p.

MERCANTE, F.M.; STRALIOTTO, R.; DUQUE, F.F.; FRANCO, A.A. A inoculação do feijoeiro comum com *Rhizóbio*. Itaguaí: EMBRAPA/CNPBS, (19..). 12p. (Mimeografado).

MILLÉO, M.V.R.; MONFERDINI, M.A.; ROSSI, M.S. Avaliação de eficiência agrônômica de métodos para o suprimento de nitrogênio para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6; 1999. Salvador. Anais...Salvador, BA: EMBRAPA/CNPAP, 1999. p.760-763.

MUNNS, D.N.; KEYSER, H.H. Response of *Rhizobium* strains to acid and aluminum stress. *Soil Biology Biochemmistry*, New York, v.13, n.1, p.115-118, Jan. 1981.

MUNNS, D.N. Nodulation of *Medicago sativa* in solution culture. I - Acid-sensitive steps. *Plant and Soil*, The Hague, v.28, p,129-46, 1968.

NUTMAN, P.S. Varietal diference in the nodulation subterranean clover. *Australian journal or Agriculture Research*, Melbourne, v.18, n.4, p.381-425, July. 1967.

OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S.; DUTRA, G.L. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996. p.169-221.

OLIVEIRA, J.P.; THUNG, M.D.T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p.175-212.

PARRA, M.S. Calagem e adubação. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Feijão: Tecnologia de produção. Londrina., 2000. p.21-28. (IAPAR. Informe da Pesquisa, 135).

PARRA, M.S.; HOEPFNER, M.A; VOSS, M. Adubação do feijoeiro no Paraná. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Manual Agropecuário do Paraná. Londrina, 1978. p.247-255.

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 vulgaris* 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.; MIRANDA, B.D.; ATTEWEL, J.R.; KMIECIK, K.A.; BLISS, F.A. Selection for increase nodule number in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil*, The Hague, v.148, p.203-209, Jan. 1993.

PERES, J.R.R.; SUHET, A.R.; MENDES, I.C.; VARGAS, M.A.T. Efeito de inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada em sete cultivares de feijão em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, n.3, p.415-420, set./dez. 1994.

PESSOA, A.C.S.; RIBEIRO, A.C.; CHAGAS, J.M.; CASSINI, S.T.A. Atividade de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro "ouro negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.25, n.1, p.217-224, 2001.

PJINENBORG, J.W.N.; LIE, T.A.; ZEHNDER, A.J.B. Inhibition of nodulation of lucerne (*Medicago sativa* L.) by calcium depletion in na acid soil. *Plant and Soil*, The Hague, v.127, p.31-39, Sept. 1990.

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

RAMOS, H.J. de O. Compostos fenólicos em rizóbio e o efeito na capacidade de nodulação de plantas de feijão e soja. 1996. 57p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RENNIE, R.J. Comparison of balance and ^{15}N isotope dilution to quantify N_2 fixation in field grown legumes. *Agronomy Journal*, Madison, v.76, p.785-790, 1984.

RICE, W.A.; OLCEN, P.E. Inoculation of alfalfa seed for increase yield on moderately acid soil. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.63, n.3, p.541-545, Aug. 1983.

RODRIGUES, J.R.M.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, J.G. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a doses de molibdênio aplicadas via foliar. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.20, n.3, p.323-333, jul./set. 1996.

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996. p.353-416.

RUANO, L.P. Distribuição de ^{14}C fotoassimilados durante o desenvolvimento de plantas de *Phaseolus vulgaris* e seu correlacionamento com a fixação simbiótica de nitrogênio. 1984. 33p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RUSCHEL, A.P. Fixação biológica do nitrogênio. In: FERRI, M.G. *Fisiologia vegetal 1*. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. p.167-178.

SAITO, S.M.T. Avaliação em campo da capacidade de fixação simbiótica de estirpes de *Rhizobium phaseoli*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.17, p.999-1006, 1982.

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, O.S. Molibdênio. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p.191-217.

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

SEGÓVIA, L.; YOUNG, J.P.W.; MARTINEZ-ROMERO, E. Reclassification of American *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* type I strains as *Rhizobium etli* sp. nov. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Washington, v.43, p.374-377, 1993.

SILVA, M.V. da; ALVES, V.G.; ANDRADE, M.J.B. de. Aplicação foliar simultânea de molibdênio e defensivos agrícolas na cultura do feijoeiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6; 1999. Salvador. Anais...Salvador, BA: EMBRAPA/CNPAP, 1999. p.753-755.

SILVA, M.V. da; ALVES, V.G.; ANDRADE, M.J.B. de; CARVALHO, J.G.; Efeitos de fontes e doses de molibdênio via foliar na cultura 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 BILOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambú. Resumos. Caxambú: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.61.

SIQUEIRA, C. Absorção de molibdato em latosolos sob vegetação de cerrado. 1976. 86p. Tese (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SIQUEIRA, C.; VELOSO, A.C. Adsorção de molibdênio em solos sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, p.24-28, 1978.

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, n.2, p.293-300, Mar. 1991.

TEIXEIRA, I.R.; ANDRADE, M.J.B. de; CARVALHO, J.G.; MORAIS, A.R.; CORRÊA, J.B.D. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, 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, n.1, p.131-138, May. 1993.

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, 1998.

VARGAS, A.A.T.; SILVEIRA, J.S.M.; ATHAYDE, J.T.; PACOVA, B.E.V. Comparação entre genótipos de feijão quanto à capacidade nodulante e à produtividade com inoculação com rizóbios e/ou adubação de N-mineral. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, n.1, p. 267-272, 1991.

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

VIEIRA, R.F. Aplicação foliar de molibdênio e seu efeito nas atividades da nitrogenase e redutase do nitrato no feijoeiro em campo. 1994. 188p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.

VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. I. nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. *Journal of Plant Nutrition*, Madison, v.21, n.1, p.169-180, 1998.

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.

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

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