

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E NÍVEIS CRÍTICOS  
FOLIARES DE NITROGÊNIO EM FEIJOEIRO  
CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA**

**FÁBIO SIDNEI CORRÊA**

1999

**FÁBIO SIDNEI CORRÊA**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E NÍVEIS CRÍTICOS FOLIARES DE  
NITROGÊNIO EM FEJJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA**

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

**Orientador**

**Prof. ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1999**

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

**Corrêa, Fábio Sidnei**

**Adubação nitrogenada e níveis críticos foliares de nitrogênio em feijoeiro  
cultivado em solos de várzea / Fábio Sidnei Corrêa. – Lavras : UFLA, 1999.**

**45 p. : il.**

**Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.**

**Dissertação (Mestrado) – UFLA.**

**Bibliografia.**

**1. Feijão. 2. Adubação nitrogenada. 3. Nível crítico foliar. 4. Várzea. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título**

**CDD-635.652894**

**FÁBIO SIDNEI CORRÊA**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E NÍVEIS CRÍTICOS FOLIARES DE  
NITROGÊNIO EM FEJJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal  
de Lavras como parte das exigências do  
Programa de Pós Graduação em Agronomia,  
área de concentração em Solos e Nutrição de  
Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

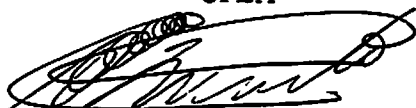
**APROVADA em 27 de setembro de 1999**

**Prof. Valdemar Faquin**

**UFLA**

**Luiz Arnaldo Fernandes**

**UFLA**



**Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto**

**UFLA**

**(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

*Aos companheiros eternos Clóvis, Vera, Clóvis Eduardo,  
Luciana e Mariele, por tornarem possível  
o cumprimento de mais uma etapa,*

**DEDICO**

*À Deus, pela oportunidade de realizar sonhos,*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela oportunidade de realização do curso e pela concessão da bolsa de estudos via Programa Especial de Treinamento (PET).

Ao professor e amigo Antonio Eduardo Furtini Neto, pelos tantos ensinamentos, que ultrapassaram aqueles restritos a um orientador.

Ao professor Valdemar Faquin, pelas valiosas contribuições durante todo o curso.

Ao amigo Luiz Arnaldo Fernandes pela constante presença e contribuição a realização deste trabalho.

Ao aluno de graduação Leandro de Mello Gallep, pela dedicação e ajuda na condução do experimento.

Aos colegas e amigos do departamento de solos pelo valioso convívio.

Aos grandes amigos Eduardo (G), Marcelo (Oeste Paulista) e Fernando pelo grande companheirismo.

Aos professores Nilton Curi, Vicente Gualberto e Alfredo Scheid Lopes pelos tantos ensinamentos.

Ao amigo Fernando Corrêa, por tudo.

A todo o corpo docente, discente e de funcionários do Departamento de Ciência do Solo, enfim todos que, de alguma maneira, contribuíram para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Natureza dos solos de várzea.....	3
2.2 Nitrogênio .....	4
2.3 Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada.....	7
2.4 Matéria orgânica na nutrição do feijoeiro.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Unidades de solo.....	12
3.2 Caracterização física, química e mineralógica dos solos.....	13
3.3 Delineamento experimental .....	14
3.4 Determinações analíticas e variáveis analisadas.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1 Caracterização dos solos.....	17
4.2 Produção de grãos.....	19
4.3 Teores e níveis críticos de nitrogênio no feijoeiro.....	24
4.4 Número de vagens por planta e número grãos por vagem.....	29
4.5 Teores de macronutrientes nas folhas .....	31
5 CONCLUSÕES.....	34
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
ANEXOS .....	44

## RESUMO

**CORRÊA, Fábio Sidnei. Adubação nitrogenada e níveis críticos foliares de nitrogênio em feijoeiro cultivado em solos de várzea. Lavras: UFLA, 1999. 45p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)**

Com o objetivo de avaliar a resposta do feijoeiro à fertilização com nitrogênio em diferentes solos de várzea, foi conduzido um experimento, em casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Os solos utilizados foram: Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O), este último artificialmente drenado, coletados na camada de 0-20 cm. Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 6 (quatro solos: GP, A, GH e O, e seis doses de nitrogênio: 0, 60, 120, 200, 320 e 400 mg N dm<sup>-3</sup> de solo). Os solos receberam calcário dolomítico e uma adubação básica com macro e micronutrientes. Após incubação por 30 dias, com teor de água mantido em torno de 70% do VTP, os solos foram colocados em vasos de 3 dm<sup>3</sup>, nos quais foram cultivadas três plantas, tendo uma sido colhida no florescimento. Nela avaliaram-se os teores foliares de macronutrientes e nas duas restantes, na maturação dos grãos, foram avaliadas a matéria seca de grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem. O feijoeiro respondeu positivamente em produção de grãos à aplicação de N em três solos (GP, A e O), enquanto que para o solo GH houve um efeito depressivo da adubação nitrogenada. Houve resposta significativa do número de vagem por planta às doses de N aplicadas em cada solo. Os níveis críticos de N foliar variaram entre os solos e estiveram associados aos seus atributos, principalmente ao teor de matéria orgânica.

---

Comitê Orientador: Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA (Orientador), Prof. Valdemar Faquin - UFLA e Luiz Arnaldo Fernandes - CPGSNP/UFLA.



## ABSTRACT

**CORRÊA, Fabio Sidnei. Nitrogen fertilization and critical leaf levels of nitrogen in bean plant grown on lowland soils. Lavras: UFLA, 1999. 45p. (Dissertation – Master in Agronomy).**

With a view to evaluating the response of the bean plant to fertilization with nitrogen on different lowland soils, an experiment was conducted, in greenhouse, in the Soil Science Department of the Universidade Federal de Lavras. The soils utilized were: Little Humic Gley (GP), Alluvial (A), Humic Gley (GH) and Organic (O), this latter one artificially drained, collected in the layer of 0-20 cm. The completely randomized experimental design, with four replicates, in 4 x 6 factorial scheme (four soils: GP, A, GH and O and six doses of nitrogen: 0, 60, 120, 200, 320 and 400 mg of N dm<sup>-3</sup> of soil) was utilized. The soils were applied dolomitic limestone and a basic fertilization with both macro and micronutrients. After incubation for 30 days, with content of water maintained around 70% of the TPV, the soils were placed into pots of, 3dm<sup>3</sup> in which three plants were grown, one having been harvested at blooming, in which the leaf contents of macronutrients were evaluated and the two remaining ones, at grain maturation, by evaluating the dry matter of grains, pod number per plant and grain number per pod. The bean plant positively responded in grain yield to the application of N on three soils (GP, A and O), while to the GH soil there was a decreasing effect of nitrogen fertilization. There was a significant response of pod number per plant to the doses of N applied in each soil. The critical leaf N levels ranged among the soils and were associated to their features, mainly to the organic matter content.

---

Guidance committee: Antonio Eduardo Furtini Neto – UFLA (Major Professor),  
Waldemar Faquin – UFLA and Luiz Arnaldo Fernandes – CPGSNP/UFLA

# **ADUBAÇÃO NITROGENADA E NÍVEIS CRÍTICOS FOLIARES DE NITROGÊNIO EM FEJJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA**

## **1 INTRODUÇÃO**

Segundo projeções das Nações Unidas, o mundo abrigará, no ano 2000, cerca de 6,2 bilhões de habitantes, o que trará como consequência um dos maiores desafios para a humanidade, que é o de alimentar essa fantástica população. Segundo dados da FAO, haverá necessidade de um incremento de 60% na produtividade das culturas nos países em desenvolvimento e, ainda, a incorporação de 200 milhões de hectares à área plantada.

Para alguns estados brasileiros, uma das alternativas para a expansão da fronteira agrícola é o uso racional das áreas de várzeas. Dos 30 milhões de hectares de várzeas irrigáveis sem aproveitamento racional, 200 mil estão localizados no sul de Minas Gerais (Provárzeas, 1981).

Os solos de várzeas, devido a sua localização topográfica e processos de formação, apresentam características físicas e químicas próprias, diferentes dos solos de terras altas, comumente cultivados com feijoeiro (Andrade, 1997). Por passarem pelo menos um período sob inundação e serem originados de materiais heterogêneos, no tocante a granulometria e mineralogia, estes solos possuem características e propriedades diferentes daquelas verificadas nos solos de “terra alta”. Dentre elas, podem-se destacar as reações do solo, as condições de oxirredução, o desenvolvimento de organismos anaeróbicos e o acúmulo de matéria orgânica (Ponnanperuma, 1972).

Até o presente momento, as várzeas têm sido cultivadas quase que exclusivamente com arroz irrigado com inundação contínua, porém, estas áreas mostram-se altamente promissoras ao cultivo do feijoeiro, principalmente em

sucessão ao arroz. Ainda, a topografia e localização favorável à irrigação e a disponibilidade de água abrem perspectivas para mais de uma colheita por ano.

Existem, porém, segundo Andrade (1997), algumas dificuldades relativas ao cultivo do feijoeiro em solos de várzea, como menor adaptabilidade do sistema radicular às condições de baixos teores de oxigênio e ou elevado teor de umidade, além de poucas informações sobre as limitações nutricionais que estes solos apresentam para o desenvolvimento e produção da cultura.

Tendo em vista o ecossistema de várzeas ser muito heterogêneo e frágil, tornam-se de grande importância estudos mais detalhados visando o manejo racional dessa fronteira agrícola, procurando conhecer as variáveis envolvidas em sua utilização, fornecendo subsídios para a identificação apropriada, aptidão agrícola e manejo racional dos seus solos.

Os solos de várzea do sul de Minas Gerais apresentam-se como uma fronteira agrícola, principalmente para o cultivo do feijoeiro, que tem um importante papel sócio econômico na região. Dessa forma, é relevante a realização de trabalhos para obtenção de resposta e correção de problemas que limitam boas produtividades do feijoeiro nesses solos.

Em trabalhos recentes realizados no Departamento de Ciência do Solo, tem sido verificada baixa disponibilidade de nitrogênio em solos representativos das várzeas do sul de Minas Gerais (Andrade, 1997), mesmo que alguns deles tenham apresentado altos teores de matéria orgânica. Assim, o presente estudo teve como objetivos avaliar a resposta do feijoeiro à fertilização com nitrogênio, em quatro solos de várzea do sul de Minas Gerais, bem como determinar os níveis críticos foliares do nutriente.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Natureza dos solos de várzea

Solos de várzeas são aqueles encontrados nas planícies dos rios e lagos formados pela deposição de sedimentos de diversas origens. Devido a esta heterogeneidade os solos assim desenvolvidos apresentam grande variação de um local para outro, sendo uma característica deles a má drenagem ou hidromorfismo (Klamt, 1984). Representam áreas para onde convergem tanto a água superficial quanto a subsuperficial das encostas circunvizinhas, áreas que são naturalmente mais úmidas, tomando-se completamente encharcadas durante os períodos chuvosos (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992).

Segundo Curi, Resende e Santana (1988), os principais solos de várzea abrangem basicamente os Aluviais, Gleí Pouco Húmico, Gleí Húmico e Orgânicos, sendo que o teor de matéria orgânica, deficiência de arejamento, altura e estabilidade relativa do nível de água, adsorção de pesticidas e previsibilidade de propriedades aumentam nesta mesma ordem. Estes solos, por passarem pelo menos um período sob inundação, apresentam características diferentes daquelas verificadas em condições de boa drenagem, destacando-se, entre elas a reação do solo e as condições de oxi-redução (Ponnanperuma, 1972).

De acordo com esse mesmo autor, a alteração destas características acarreta mudanças no comportamento dos nutrientes, tanto daqueles nativos quanto dos adicionados ao solo, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas e o aproveitamento dos fertilizantes aplicados.

O excesso de umidade presente na maioria dos solos de várzeas pode estar relacionado a presença do lençol freático próximo a superfície, posição no relevo, presença de camadas de menor permeabilidade no subsolo, ou ainda, ao efeito combinado desses fatores. Sob essas condições, o solo apresenta cor

gleizada, proveniente da redução e/ou remoção do ferro (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992).

Por outro lado, as várzeas, de maneira geral, possuem um conjunto de características favoráveis, tais como a boa topografia, facilidade de mecanização em algumas situações e possibilidade de irrigação contínua. Este último aspecto assume grande importância, considerando-se a seca e/ou veranicos como fatores altamente limitantes da produção de certas regiões onde se encontram inseridas estas áreas (Abreu, 1985). Além disso, esta facilidade de irrigação permite mais de um cultivo por ano, aumentando a receita por área.

As informações técnicas de cultivo de feijoeiro em várzeas são relativamente escassas na literatura, despertando assim o interesse pelo desenvolvimento de sistemas de produção adequados para esta cultura em várzea e não simplesmente por transferir as tecnologias disponíveis do sistema de produção de sequeiro (Araújo et al., 1996).

## 2.2 Nitrogênio

O nitrogênio (N), nutriente normalmente exigido em maior quantidade pelas culturas, possui uma dinâmica complexa no solo e em geral não deixa efeitos residuais diretos, sendo o manejo adequado nas adubações dos mais difíceis (Raij, 1991). Este elemento desempenha funções fundamentais na fisiologia da planta, atuando tanto na sua estrutura quanto no seu metabolismo (Taiz e Zeiger, 1991). O N altera a composição da planta de forma mais intensa do que qualquer outro nutriente, refletindo a competição por fotossintatos, entre as várias rotas metabólicas (Marschner, 1995).

O nitrogênio é constituinte básico da clorofila, dos aminoácidos, das proteínas, dos ácidos nucleicos e de outros compostos importantes no metabolismo da planta. Plantas com teores de nitrogênio abaixo de 1% em suas

diferentes partes e durante seu ciclo, são consideradas deficientes desse elemento (Oliveira e Thung, 1988). Segundo Oliveira, Araújo e Dutra (1996), a deficiência de N no feijoeiro é caracterizada por plantas atrofiadas, com caule e ramos delgados; folhas apresentando coloração entre verde pálido e amarela; os ramos são reduzidos, com poucas flores e as vagens contêm poucas e pequenas sementes, resultando em baixa produção de grãos. A coloração amarela das folhas do feijoeiro, em condições de deficiência de nitrogênio, está associada com a menor produção de clorofila e com modificações na forma dos cloroplastos.

O nitrogênio existente no solo encontra-se predominantemente na forma orgânica, em uma enorme variedade de compostos ou radicais que refletem a diversidade existentes em plantas e microrganismos do solo. O nitrogênio orgânico não está diretamente disponível para as plantas, sendo necessária sua transformação em formas inorgânicas ou minerais, através do processo de mineralização. As formas minerais (amônio e nitrato) são aproveitáveis pelas plantas e, desta forma, de maior interesse para a nutrição vegetal.

O íon amônio, proveniente da mineralização do nitrogênio ou da aplicação de fertilizante ao solo, pode ser trocável ou não trocável. A forma não trocável corresponde ao amônio que é fixado pelo solo, ou seja, aquele retido nos espaços internos de argila do tipo 2:1, sendo, portanto, seu teor negligível em solos mais intemperizados. O excesso de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) não utilizado pelo microrganismos é liberado e oxidado por bactérias autotróficas a  $\text{NO}_2^-$  e, posteriormente, a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). O nitrato é extremamente móvel no solo, sendo perdido, principalmente, pelos processos de lixiviação e volatilização (Caballero, 1982; Oziname, Van Gijn e Ulex, 1983), afetando, desta maneira, a disponibilidade de nitrogênio no solo e a eficiência dos fertilizantes nitrogenados. O N lixiviado pode atingir o lençol freático, rios e lagos, causando

poluição ambiental e doenças que podem ser fatais aos animais e aos homens (Siqueira e Franco, 1988).

A absorção do N pela planta é afetada pelas condições ambientais (temperatura, aeração, pH do solo, atividade de outros elementos na solução, estresse hídrico e da concentração do sal na zona radicular), sendo também dependente do genótipo. A taxa de absorção do N varia durante o ciclo de vida da planta. A maior quantidade deste nutriente é absorvida durante o estágio vegetativo e, desta, a maior parte é translocada para a semente durante seu período de enchimento (Amane, 1997).

O N é o elemento mais exigido durante o ciclo da cultura do feijoeiro (Gallo e Miyasaka, 1961) e seu acúmulo na planta acompanha o acúmulo de matéria seca total (Caballero et al., 1985; Granados, Ortega e Zarate, 1986/1987).

A preferência pela forma iônica de N pode mudar durante o ciclo da cultura, de acordo com o seu estágio de crescimento. Após absorvido pelas raízes, o nitrogênio é transportado no xilema para a parte aérea e depois redistribuído, principalmente via floema, sendo ambos os processos muito rápidos. O  $\text{NH}_4^+$  absorvido pela planta tem que ser logo incorporado aos esqueletos carbônicos na raiz, sendo translocado para a parte aérea na forma de aminoácidos, amidas e compostos relacionados para posterior utilização, não podendo ser armazenado, por ser tóxico à planta e por atuar como desaclopador da fotofosforilação (Marschner, 1995). O nitrogênio absorvido na forma de nitrato poderá ser transportado como tal, dependendo do potencial de redução do nitrato das raízes. Já o nitrogênio, nas plantas fixadoras de  $\text{N}_2$ , será transportado em compostos como glutamina, asparagina e ureídeos (Faquin, 1994).

Os diversos compostos contendo nitrogênio desempenham várias funções nas plantas, destacando-se: absorção iônica, fotossíntese, respiração, biossíntese, multiplicação e diferenciação celulares (Malavolta, Vitti e Oliveira,

1989). Além disto, o N orgânico desempenha funções estruturais e é constituinte de enzimas. O N desempenha também na planta funções de osmorregulação, mantendo o equilíbrio eletroquímico celular pelo acúmulo de nitrato no vacúolo. O nitrato é reduzido a amônio pela atividade de nitrato-redutase e nitrito-redutase em reações localizadas, respectivamente no citoplasma e cloroplasto (Redinbaugh e Campbell, 1991). O amônio é incorporado em  $\alpha$  cetoácidos formando aminoácidos, os quais seguem diferentes rotas metabólicas, como a síntese de proteínas, coenzimas e ácidos nucléicos, dentre outras moléculas vitais (Marschner, 1995).

Segundo Natr (1992), o decréscimo na taxa de crescimento foliar e a conseqüente redução no tamanho das folhas parecem ser o maior resultado da deficiência de N nas plantas, sendo este fato evidenciado por Tesarova e Natr (1986) ao verificarem redução de aproximadamente 50% da área foliar e do peso da matéria seca das folhas de aveia, causada pela deficiência do nutriente.

### **2.3 Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada**

Embora o feijoeiro seja comumente plantado em áreas de fertilidade marginal, o seu máximo rendimento só é obtido em condições de média a alta fertilidade. O seu crescimento é constante em todo o ciclo e a fase de alongamento da planta, tanto da parte aérea quanto da raiz, coincide com a maior absorção de nutrientes. O acompanhamento do desenvolvimento vegetal durante todo o ciclo da cultura é indispensável para que assim se possam corrigir em tempo, as deficiências nutricionais e proporcionar às plantas condições para que alcancem todo o seu potencial de produção. Uma adubação básica equilibrada, quantitativa e qualitativamente, é muito importante porque as deficiências nutricionais expressas por sintomas foliares, corrigidas após um longo período



de carência, podem desaparecer, mas a produção já estará comprometida (Araújo et al., 1996).

Malavolta (1972), citado por Souza (1994), analisando 232 experimentos de adubação, verificou que, depois do fósforo, as respostas mais comuns (29% dos ensaios) foram ao nitrogênio, concordando com os resultados relatados por Igue (1968) que, em 14 dos 50 ensaios, encontrou resposta significativa e positiva ao N.

Pons e Goepfert (1975), estudando o efeito de doses de nitrogênio durante dois anos no Rio Grande do Sul, verificaram, no primeiro ano, que não houve resposta ao nutriente. Já no segundo ano, observaram acentuado aumento na produção, superior a 50%, provocado pela aplicação de N.

Silva et al. (1989), estudando a resposta de três cultivares de feijoeiro (Carioca, Eriparza e Rio Tibagi) a doses de nitrogênio, verificaram que as cultivares responderam diferentemente aos níveis de adubação nitrogenada. A cultivar Carioca mostrou-se mais eficiente na utilização do nitrogênio, tendo ocorrido o contrário com a cultivar Tibagi. A cultivar mais precoce, Eriparza, não respondeu à adubação com N. A adubação nitrogenada, além de contribuir para o aumento da produtividade, proporciona maior produção de proteína por área. Oliveira e Thung (1988); Parra (1989) e Amane (1994) também encontraram respostas diferenciais das cultivares à aplicação de nitrogênio. Porém, a falta de estudos mais detalhados a essas respostas tem impedido as recomendações direcionadas por cultivar plantada (Junqueira Neto, 1977).

Cardoso, Fontes e Vieira (1978), testando fertilizantes nitrogenados na cultura do feijoeiro em Viçosa-MG e no estado de Tocantins, obtiveram efeito linear e positivo em três experimentos sobre a produtividade de grãos, quando utilizaram até 90 kg/ha e, em um experimento, obteve-se resposta quando utilizaram até 150 kg/ha de N, aplicados parte no sulco e parte em cobertura.

Diversos autores também encontraram um efeito significativo das doses de N

sobre a produtividade de grãos. Em um levantamento feito por Rosolem (1996), observou-se uma variação muito ampla com relação à resposta do feijoeiro a doses de N (30 a 150 kg/ha), sugerindo que a cultura, em algumas situações, pode responder a doses maiores que as atualmente recomendadas.

A resposta do feijoeiro ao nitrogênio está diretamente relacionada à disponibilidade de água, ou seja, na época da seca a resposta ao nitrogênio tende a ser menor. Desta forma, a adubação nitrogenada no período das águas torna-se mais econômica, o que pode ser confirmado pelos estudos de Reis, Vieira e Braga (1972), que observaram que, em experimentos nas “águas”, a falta de adubo nitrogenado no sulco de plantio foi prejudicial à produção de sementes, porém, o mesmo comportamento não foi observado no período da “seca”.

Almeida et al. (1988), estudando a partição de assimilados e a produção de matéria seca de feijão em condições de campo sob três níveis de radiação solar e três doses de N, observaram que a variação da densidade do fluxo radiante e as doses de N induziram a planta a modificar a distribuição dos seus fotoassimilados, alterando, conseqüentemente, seu crescimento e morfologia, sendo que a redução da radiação solar e o incremento das doses de N promoveram o aumento da altura e da área foliar das plantas.

Existe um descrédito quanto a capacidade do feijoeiro de fixar nitrogênio atmosférico em quantidades suficientes para suprir as exigências da produção quando em associação com *Rhizobium*, recomendando-se indistintamente o uso de fertilizantes nitrogenados para a cultura (Embrapa, 1993).

As cultivares mais recentes de feijoeiro apresentam maior aptidão produtiva e melhor adaptabilidade para produção de grãos nas diferentes regiões produtoras do Brasil. Apesar destas cultivares geralmente responderem à adubação nitrogenada, alguns trabalhos sugerem que elas têm boa capacidade simbiótica, merecendo, portanto, mais estudos (Araújo et al., 1996).

## 2.4 Matéria orgânica do solo na nutrição do feijoeiro

O desenvolvimento gradativo de vegetais e de outros organismos no processo de transformação de rochas em solos permite o acúmulo progressivo de matéria orgânica até um nível de equilíbrio entre adições e perdas por decomposição. A formação do solo leva tempo, centenas ou milhares de anos. O carbono da matéria orgânica provém do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) do ar fixado pelas plantas clorofiladas através do processo de fotossíntese. O nitrogênio provém de pequenas adições anuais de nitrogênio inorgânico pela água da chuva e fixação do nitrogênio atmosférico por microrganismos. Em um determinado ecossistema em equilíbrio, o teor de matéria orgânica do solo é relativamente constante, refletindo o equilíbrio entre a incorporação de novos restos orgânicos e a decomposição por ação dos organismos. Em geral, solos argilosos são mais ricos em matéria orgânica. Em condições de excesso de umidade, que impedem a decomposição, pode haver acúmulo acentuado de matéria orgânica, formando-se os chamados solos orgânicos. Nestas condições, a matéria orgânica existente é lentamente mineralizada por bactérias anaeróbicas, o que propicia um acúmulo desse material no solo. Esse acúmulo é um dos responsáveis pelas melhores características físicas, químicas e biológicas apresentadas nos horizontes superficiais dos solos de várzea e pela sua fertilidade natural às vezes elevada (Capeche, 1991).

A matéria orgânica do solo encontra-se em vários estágios de decomposição, desde tecidos vivos até um produto que já sofreu uma série de processos bioquímicos de transformação. Denomina-se húmus aquela matéria orgânica escura, bem decomposta e relativamente estável, na qual não é mais possível reconhecer os materiais que lhe deram origem (Raij, 1991).

A matéria orgânica não decomposta, quando adicionada ao solo, libera nutrientes para a solução através da decomposição que, apesar de ser um

processo bem mais rápido que o da intemperização dos minerais primários, tem de ser visto como uma liberação em potencial. Já o húmus, junto aos minerais secundários, é o responsável pela atividade química dos solos.

A matéria orgânica constitui um dos fatores mais importantes para a produção do feijoeiro. A sua função, além de ser fonte de nutrientes ao se decompor, é formar uma série de compostos orgânicos complexos que retêm os nutrientes por maior período de tempo, que vão sendo liberados à medida que estes compostos vão sendo hidrolisados e colocados à disposição da planta. Solos cultivados com feijoeiro que receberam biofertilizantes têm mostrado aumento na capacidade de troca, indicando maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, elevação de pH e, ao mesmo tempo, abaixamento do ponto isoelétrico do solo. A capacidade de adsorção dos cátions dos colóides orgânicos varia de duas a trinta vezes a dos colóides minerais (Araújo et al., 1996).

Atualmente, encontram-se amplamente difundidas as respostas de culturas a doses de nutrientes nos mais diversos solos. Porém, a heterogeneidade dos solos de várzea, variando os teores de matéria orgânica e, conseqüentemente, a disponibilidade de nitrogênio para a planta, associada à presença de resposta do feijoeiro ao N (Andrade, 1997) nesses mesmos solos, despertaram a necessidade de execução de um trabalho de pesquisa a diferentes níveis de adubação nitrogenada em solos de várzea, visto que a exploração intensiva de várzeas com o feijoeiro está prestes a se tornar realidade.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, onde as unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com capacidade para três dm<sup>3</sup>. O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv Carioca - MG), de hábito de crescimento determinado, foi cultivado no período de 11 de setembro a 1º de dezembro de 1998.

#### 3.1 Unidades de solo

Foram utilizadas amostras de quatro solos de várzea, representativos das classes Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O), que são considerados os principais tipos de solos encontrados em várzeas do estado de Minas Gerais (Embrapa, 1982), provenientes de uma várzea não sistematizada, no município de Lavras-MG. A várzea que apresenta o solo orgânico foi artificialmente drenada.

As amostras de solos foram coletadas na camada de 0-20 cm nos diferentes solos sob vegetação natural, tomando-se o cuidado de retirar os restos de vegetais presentes na superfície. As amostras foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira com malha de 5 mm de abertura. Ao mesmo tempo foram tomadas subamostras dos diferentes materiais de solo, que foram passadas em peneira de 2 mm de abertura para caracterização química, física e mineralógica da fração terra fina seca ao ar (Tabela 1).

### 3.2 Caracterização física, química e mineralógica

A granulometria dos solos foi determinada pelo método da pipeta (Day, 1965) após queima da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio, empregando-se NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante químico e agitação rápida, sendo a fração areia (2 - 0,053 mm) separada através de tamissagem.

TABELA 1. Atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos naturais usados no experimento

Químicos													
Solo	pH	P	K	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ca	Mg	Al	H+Al	S	t	T	m	V
mg/dm <sup>3</sup>				cmol/dm <sup>3</sup>							%		
GP	5,5	4	45	10,5	0,6	0,2	0,9	7,9	1,0	1,9	8,9	47	11
A	5,1	3	64	7,1	3,3	1,5	0,2	7,0	5,0	5,2	12,0	4	42
GH	5,8	5	64	8,0	0,9	0,3	1,3	15,3	1,4	2,7	16,7	48	9
O	5,6	3	61	8,8	1,2	0,6	0,7	7,9	2,0	2,7	9,9	26	20

Físicos							
	Areia	Silte	Argila	Matéria orgânica	Ds	Dp	Superfície específica
	g/kg				g/cm <sub>3</sub>		m <sup>2</sup> /g
GP	630	240	130	40	1,05	2,66	120,8
A	160	550	290	38	0,76	2,77	137,4
GH	260	410	330	177	0,40	1,81	334,6
O	290	540	170	38	0,64	2,15	180,7

Mineralógicos								
	SiO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(1)</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(1)</sup>	TiO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>(1)</sup>	Fe <sub>d</sub> <sup>(2)</sup>	Caulinita	Gibbsita
g/kg								
GP	84,2	112,2	13,0	6,2	0,10	3,2	64,9	19,0
A	209,3	221,1	74,5	9,3	0,51	41,8	145,1	49,2
GH	126,1	175,5	13,3	5,5	1,52	6,5	48,7	53,6
O	243,4	247,1	42,8	7,3	0,48	15,7	119,3	56,8

(1) Óxidos do ataque sulfúrico

(2) Fe extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato-bicarbonato de sódio

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico com álcool etílico (Embrapa, 1997). Para densidade do solo utilizou-se o método do anel volumétrico, segundo Blake (1965). Também foi determinada a superfície específica pelo método do etileno-glicol-monoetil-eter (EMEG) de Heilman, Carter e Gonzales (1965) e óxidos pelo ataque sulfúrico ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) determinados conforme Vettori (1969) com modificações da Embrapa (1979).

O pH em água, Ca, Mg, Al, P e K foi determinado conforme Vettori (1969) com modificações da Embrapa (1997), sendo que Ca, Mg e Al foram extraídos com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e P e K pelo Mehlich I ( $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ). Também foram determinados a acidez potencial (H + Al) e o carbono orgânico, conforme Raij et al. (1987). Na fração argila foram quantificadas caulinita e gibsita através de análise termo-diferencial (ATD) e óxidos de ferro livres totais ( $\text{Fe}_d$ ), usando ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), estabelecidos com base no volume de solo (Mehra e Jackson, 1960).

### 3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos distribuídos num arranjo fatorial  $4 \times 6$ , com 4 repetições, sendo os fatores: 4 solos (GP, A, GH e O) e 6 doses de nitrogênio (0; 60; 120; 200; 320; 400  $\text{mg N dm}^{-3}$  de solo). Para o fornecimento das doses de N, foi utilizado  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  p.a..

A correção da acidez dos solos, bem como o fornecimento de Ca e Mg, foram feitos com aplicação de calcário dolomítico calcinado, com PRNT = 100%,  $\text{CaO} = 35\%$  e  $\text{MgO} = 14\%$ , nas doses 13,4; 4,6; 6,4 e 4,6 t/ha para os solos Glei Pouco Húmico, Aluvial, Glei Húmico e Orgânico, respectivamente, com base nos dados obtidos por Andrade (1997), para elevar a saturação por

bases a aproximadamente 50%. Para cada parcela experimental foram incubados, em saquinho plástico, 4 dm<sup>3</sup> de solo com a sua respectiva dose de calcário por um período de 30 dias, com a umidade mantida em torno de 70% do volume total de poros ocupado por água.

Todas as amostras receberam, antes da incubação, uma adubação básica com macro e micronutrientes. Essa adubação forneceu: 450 mg P; 150 mg K; 60 mg S; 1,5 mg Cu; 5,0 mg de Zn e 0,5 mg B dm<sup>-3</sup> de solo. As fontes utilizadas foram reagentes p.a.: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; Ca(H<sub>2</sub>P0<sub>4</sub>)<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O; K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O; ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O e H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Os nutrientes foram aplicados ao solo por via líquida. Com exceção das doses zero, as demais parcelas receberam 60 mg dm<sup>-3</sup> de N, através da fonte NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> p.a., também aplicado junto a adubação básica.

Após a incubação por 30 dias, foram transferidos três dm<sup>3</sup> de solo de cada amostra para vasos previamente identificados. Em cada vaso foram depositadas 6 sementes de feijoeiro, desbastando-se para três plantas por vaso, uma semana após a emergência. Durante todo o ciclo a umidade do solo foi mantida em 70% do volume total de poros, através de pesagens periódicas dos vasos, sendo o volume de água completado com água deionizada.

As demais doses de nitrogênio, necessárias para completar cada tratamento, foram divididas em 5 adubações de cobertura utilizando a fonte NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> p.a., sendo todas realizadas antes do florescimento.

A colheita de uma das plantas foi realizada no florescimento (estádio R6), cortando-se a parte aérea rente à superfície do solo. As folhas foram acondicionadas separadamente do restante da planta. As plantas remanescentes foram colhidas na maturação fisiológica dos grãos (estádio R9), sendo os grãos colhidos separadamente do restante da planta (parte aérea + vagens).



### **3.4 Determinações analíticas e variáveis avaliadas**

As plantas, colhidas no florescimento e no final do ciclo, foram secas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65-70°C, até atingir peso constante. Em seguida, o material foi pesado obtendo-se assim, o rendimento em matéria seca de cada parte da planta separada na colheita.

Para as plantas colhidas no florescimento foram determinados os pesos de matéria seca de folhas e caule + ramos. Já para as plantas colhidas no final do ciclo, obteve-se o peso de matéria seca de grãos e da parte aérea restante (caule + ramos + folhas + palha das vagens). Além disso, foram avaliados o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem. Em seguida, o material vegetal foi moído em moinho tipo Willey. Após a moagem, as amostras foram submetidas à digestão nitricoperclórica para determinação dos teores de P, K, S, Ca, Mg (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). A concentração de P no extrato foi determinada por colorimetria, a de K por fotometria de chama, a de S por turbidimetria e as de Ca, Mg por espectrofotometria de absorção atômica. O teor de N-total foi determinado pelo método Microkjeldahl, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), e a destilação e titulação segundo Bremner e Edwards (1965).

As variáveis estudadas foram submetidas a análise de variância e estudos de regressão, cujas equações foram ajustadas às médias de produção de matéria seca de grãos (MSGR) em função das doses de nitrogênio (N). A partir do ajuste destas equações foram estimadas as doses de N necessárias para atingir a produção máxima, 90% da máxima e aquela acima da máxima suficiente para promover uma redução de 10% na matéria seca de grãos. Em seguida, estas doses foram substituídas nas equações de regressão que relacionam doses de N com seus teores foliares na época do florescimento, estimando-se assim, os níveis críticos inferiores e superiores de nitrogênio nas folhas, além do teor relacionado à produção máxima.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização dos solos

Na Tabela 1 são apresentados os atributos químicos, físicos e mineralógicos avaliados nos quatro solos estudados, verificando-se grande heterogeneidade entre eles. Segundo Curi, Resende e Santana (1988), esta heterogeneidade deve-se aos processos pelos quais os solos de várzea são formados. A exceção do Orgânico, os teores de matéria orgânica aumentaram na seguinte ordem: Aluvial < Glei Pouco Húmico < Glei Húmico. Apesar do solo Orgânico apresentar elevado teor de matéria orgânica ( $38,0 \text{ g kg}^{-1}$ ), era esperado que este teor fosse ainda maior, superando os  $177,0 \text{ g kg}^{-1}$  do Glei Húmico. Isto provavelmente não ocorreu, devido ao fato da várzea onde está inserido o Orgânico ter sido artificialmente drenada.

Os quatro solos apresentam-se com fertilidade baixa, confirmando os resultados encontrados por Mariano (1998) e Azevedo (1999). São solos naturalmente ácidos e muito pobres em fósforo. A exceção do aluvial, apresentam saturação por alumínio (m%) de médio a elevado e baixos teores de cálcio e magnésio. O solo aluvial apresenta saturação por bases um pouco mais elevada que os demais, porém, enquadra-se ainda na classe baixa. Estes resultados concordam com o relato de Fageria, Oliveira e Dutra (1996), de que os solos de várzea, geralmente, são ácidos e de baixa fertilidade.

A maior saturação por bases (V%) encontrada no solo aluvial deve-se ao médio teor de cálcio e elevado de magnésio provenientes, provavelmente, de depósitos durante as inundações que formam as camadas estratificadas deste solo. Toda inferência de resultados de solos aluviais deve salientar a dificuldade de repetibilidade em outro solo equivalente, pois uma característica marcante

desta classe de solo é a grande variação em suas características a curtas distâncias, tanto na horizontal quanto na vertical.

Todos os quatro solos apresentam teores médios de potássio. Todavia, segundo Andrade (1997), os mesmos solos apresentaram deficiências severas desse nutriente ao feijoeiro, com grandes reduções no crescimento e na produção a valores inferiores a 50%, quando comparados aos tratamentos com ausência e presença de potássio. Villa (1999) encontrou respostas significativas na produção do feijoeiro à aplicação de doses crescentes de K nesses solos.

O solo Glei Húmico diferencia-se dos demais devido a sua elevada capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T), o que lhe confere elevado poder tampão, ocasionado, principalmente, pelo seu elevado teor de matéria orgânica (177 g kg<sup>-1</sup>). Apesar de ser, dentre os quatro, o solo com maior teor de argila, a sua elevada CTC a pH 7,0 está mais relacionada à grande quantidade de matéria orgânica.

Segundo Raij (1991), é difícil precisar a contribuição dos óxidos de ferro e alumínio para a retenção de íons no solo, sendo de pequena magnitude as cargas dos óxidos em solos brasileiros, na maioria dos casos. Desta forma, considerando a acentuada capacidade de troca de cátions da matéria orgânica, pode-se prever que a retenção de ânions em solos deverá ser mais importante em valores de pH mais baixos e nas camadas mais profundas dos solos, onde é menor a influência da matéria orgânica, lembrando que a troca de ânions aumenta com a diminuição do pH, ao contrário do que ocorre com a troca de cátions, que aumenta com a elevação do mesmo. Porém, as cargas negativas da matéria orgânica desenvolvem-se a valores de pH bem mais baixos que nos óxidos (menor PCZ).

A capacidade de troca de cátions da matéria orgânica é muito elevada, apresentando valores da ordem geral de 200 a 400 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, valores estes bem superiores ao mineral de argila mais importante em solos de regiões tropicais

úmidas, a caulinita ( $10 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ ). Devido a essa alta capacidade de troca de cátions da matéria orgânica, pode-se afirmar ser ela a diferenciadora dos valores de CTC do solo Glei Húmico em relação aos demais.

Por se tratarem de solos de várzea, em que o lençol freático é elevado, estes solos permaneceram jovens, o que pode ser observado pela alta relação silte/argila apresentada em todos eles. Tem sido proposto, de maneira geral, que solos com esta relação - abaixo de 0,15 - sejam considerados muito intemperizados, por estar esta bem abaixo da encontrada para os quatro solos em estudo (Tabela 1).

Geralmente, a fração silte serve como indicadora do grau de intemperização do solo ou do potencial dele de conter minerais primários facilmente intemperizáveis, isto é, sua reserva em nutrientes. Porém, o que foi observado nos quatro solos em estudo foi uma baixa fertilidade, o que pode ser explicado pelo fato da relação positiva entre silte e reserva de nutrientes merecer algumas ressalvas. Onde a formação dos solos está tendo como substrato não a rocha inalterada mas um horizonte C já bastante lixiviado e intemperizado, o silte pode ser formado de material pobre, não podendo, nestes casos, correlacionar altos teores de silte com altos teores de minerais primários facilmente intemperizáveis (Resende et al., 1995)

## 4.2 Produção de grãos

Para a produção de grãos do feijoeiro, houve efeito significativo das doses de N dos solos e da interação dos fatores estudados (Tabela 1A). Os valores médios do rendimento de grãos em função das doses de nitrogênio estão apresentados na Figura 1. Observou-se para os solos GP, A e O, acréscimos significativos no rendimento de grãos com a aplicação de doses crescentes de nitrogênio, segundo uma relação quadrática.

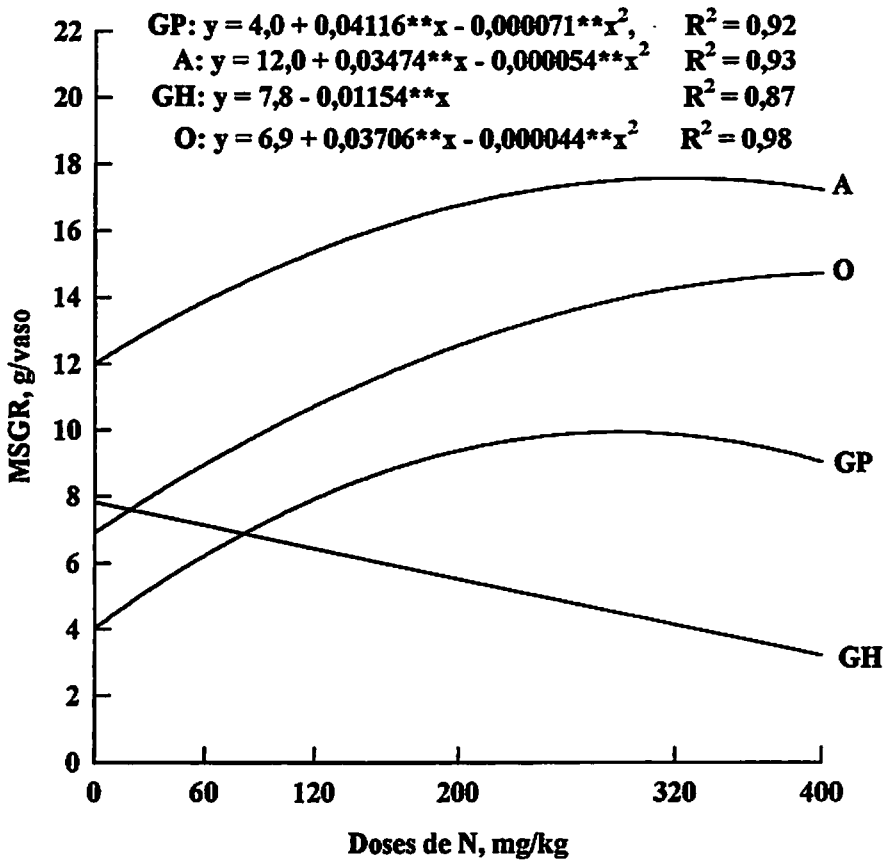


FIGURA 1. Produção de matéria seca de grãos (MSGR) pelo feijoeiro em função das doses de N nos solos Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O). (\*\* significativo a 1% pelo teste t).


Para o solo GH, a equação linear foi a que melhor se ajustou aos dados, tendo o aumento das doses de N acarretado uma diminuição no rendimento de grãos.

Observa-se que as maiores produções de grãos para o solo GH ocorreram na ausência de adubação nitrogenada (Figura 1), a qual teve efeito depressivo na produção. A produção de grãos no solo GH, na ausência de N, foi

superior a do GP e O, mostrando que, provavelmente, ocorreu um maior fornecimento de nitrogênio a partir da mineralização da matéria orgânica. Enfatiza-se que as amostras receberam calagem trinta dias antes do início do experimento, o que, aliado a melhor aeração do solo quando comparado com as condições de campo, levaram, provavelmente, à maximização da mineralização. O nitrogênio aplicado via adubação, somado àquele proveniente da mineralização, leva à queda de produção de grãos no solo GH, ocorrendo, provavelmente, excesso de nitrogênio logo na dose mais baixa de N (60 mg kg<sup>-1</sup>).

Para os solos GP, A e O, os rendimentos máximos estimados foram 9,95; 17,59 e 14,70 g vaso<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2), sendo essas produções obtidas com as doses de 289,55; 321,67 e 421,14 mg dm<sup>-3</sup> de N, nessa mesma sequência de solos. A partir daí, doses crescentes de nitrogênio provocaram o decréscimo do rendimento. Comportamento quadrático para a produção de grãos em função de doses de nitrogênio, em feijoeiro, também foi encontrado por Azevedo (1984), Berger et al. (1982) e Frizzone (1986). Além disso, diversos trabalhos têm mostrado haver variação na resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada (Azevedo, 1984; Berger et al., 1982; Almeida et al., 1982; Bulisani, 1982; Machado, Rosolem e Nakaguawa, 1982; Silva, 1994; Alvarenga, 1995; Andrade, 1997 e Teixeira, 1998).

Segundo Rajj (1991), foram desenvolvidos por Mitscherlich, no início do século, muitos trabalhos experimentais em vasos e no campo, testando quantidades crescentes de um nutriente de cada vez. Verificou-se que ao adicionar quantidades sucessivas de um nutriente, o maior incremento em produção era obtido com a primeira quantidade aplicada. Com aplicações sucessivas de quantidades iguais do nutriente, os incrementos em produção são cada vez menores, concordando com as curvas de resposta dos solos GP, A e O.



A redução na produção de grãos com o aumento da dose de N ocorreu, provavelmente, de acordo com Almeida et al.(1988), devido a um desbalanço entre a fotossíntese e a respiração do feijoeiro, em razão das pesadas adubações nitrogenadas. Estes pesquisadores verificaram que o incremento das doses de N provocou um aumento da razão parte aérea/sistema radicular, influenciando assim no movimento de carboidratos dentro da planta e levando, por conseqüência, a um desbalanço entre fotossíntese e respiração. A diminuição dos valores, após atingirem o máximo nos maiores níveis de adubação, pode ter ocorrido também, provavelmente, em decorrência da maior força de competição por assimilados pelos órgãos reprodutivos. Tanaka (1969), Murata (1969) e Frizzone (1986) também verificaram redução na produção de matéria seca de grãos, sob altas doses de adubos nitrogenados e atribuíram essa redução ao desbalanço entre fotossíntese e respiração.

Para atingir a produção máxima de uma cultura são necessárias aplicações de doses de fertilizantes que, às vezes, não são econômicas. Frequentemente, consideram-se doses que proporcionam de 80 a 90% do rendimento máximo, as quais espera-se aproximar do rendimento máximo econômico (Faquin et al., 1995). Assim, pelas funções obtidas na Figura 1, estimaram-se as produções de MSGR e as doses de N correspondentes à produção máxima, 90% da máxima, e as doses acima da máxima suficientes para redução de 10% da máxima, tendo, nesse caso, um efeito depressivo na produção pelo excesso de N. Deve-se, portanto, tentar avaliar a fertilidade do solo a fim de se obter o máximo retorno agrônômico dos nutrientes aplicados e também evitar aplicações elevadas onde elas são desnecessárias ou onde possam ter efeito depressivo, neste caso com duplo prejuízo, o do gasto inútil com o nutriente e o da perda de produção (Raij, 1991).

**TABELA 2.** Produção estimada de matéria seca de grãos (MSGR) correspondente à produção máxima e 90% da máxima e as doses de N estimadas para promover essas produções e redução de 10% da máxima

Solo	MSGR (g/vaso)		Dose de N (mg/kg)		
	90%	Máxima	90%	Máxima	-10%
GP	8,96	9,95	171,31	289,55	407,79
A	15,83	17,59	141,29	321,67	502,07
GH	-	7,80	-	0,00	-
O	13,23	14,70	238,14	421,14	604,15

Para se obter uma produção de 90% da máxima, observou-se redução de 41, 56 e 44% nas doses de N em relação às doses máximas, para os solos GP, A e O, respectivamente (Tabela 2). Para o solo GH, observou-se que a dose zero foi a que proporcionou o maior rendimento de grãos, ou seja, todas as doses tiveram efeito depressivo na produção. As altas reduções nas doses de N verificadas para o GP, A e O para obtenção de 90% da produção máxima foram devidas ao ajuste quadrático da produção de grãos como variável dependente das doses de N (Figura 1), sendo a maior redução verificada para o aluvial.

De acordo com os dados da Tabela 2, são necessários 408, 502 e 604 mg dm<sup>-3</sup> de N para promover uma redução de 10% na produção máxima de grãos, para o GP, A e O, respectivamente. Através destes valores, observa-se que a maior dose aplicada ao GP (400 mg dm<sup>-3</sup>) encontra-se bem próxima da dose que gerou queda na produção (408 mg dm<sup>-3</sup>), despertando preocupações com o uso de altas doses de N neste solo. Já o orgânico respondeu a doses bem maiores, sendo a maior dose aplicada inferior à dose máxima, estimada pela equação de regressão. Desta forma, fica evidente a importância do estudo de resposta a nutrientes em cada classe de solo em separado, além da necessidade de estudo com doses ainda maiores.

O efeito depressivo da adubação nitrogenada no solo GH está relacionado, provavelmente, ao seu alto teor de matéria orgânica (177 g kg<sup>-1</sup>),



que é cerca de 4,5 vezes maior que os demais. Com a prática da calagem realizada antes da incubação, ocorreu uma maximização da mineralização, disponibilizando assim boa parte do N orgânico. Esta mineralização pode ser verificada pela maior produção do GH na dose zero, quando comparado com o GP e O (Figura 1). Desta forma, todo o nitrogênio aplicado representou um excesso, que pode ser verificado pelos altos teores foliares de N do feijoeiro cultivado neste solo, em relação aos demais (Figura 2).

Ressalta-se a dificuldade de prever a magnitude da mineralização da matéria orgânica durante os períodos em que as plantas são cultivadas, refletindo a complexa dinâmica do N no solo, principalmente em solos de várzea, agravada pelos ciclos de umedecimento e secagem a que estão sujeitos no campo.

#### **4.3 Teores e níveis críticos de nitrogênio no feijoeiro**

A análise de variância (Tabela 1A) mostrou efeito significativo da adubação nitrogenada sobre os teores de N nas folhas do feijoeiro, sendo a interação adubação nitrogenada x solo altamente significativa. Observou-se acréscimo nos teores foliares de N com a aplicação das doses de nitrogênio, segundo uma relação linear em todos os solos (Figura 2).

Para os solos GP, A e O, além da expansão da área foliar, o aumento do suprimento de nitrogênio no solo provocou um aumento na absorção deste nutriente pela cultura, resultando em um aumento do teor de nitrogênio nas folhas (Figura 2). Segundo Malavolta (1980), distinguem-se três estágios, sendo o primeiro caracterizado por um aumento da produção, o segundo, estacionário, é chamado de absorção de luxo e o terceiro caracteriza-se pela redução da produção à medida que aumentam os teores de nutrientes nas folhas, denotando uma toxidez do elemento.

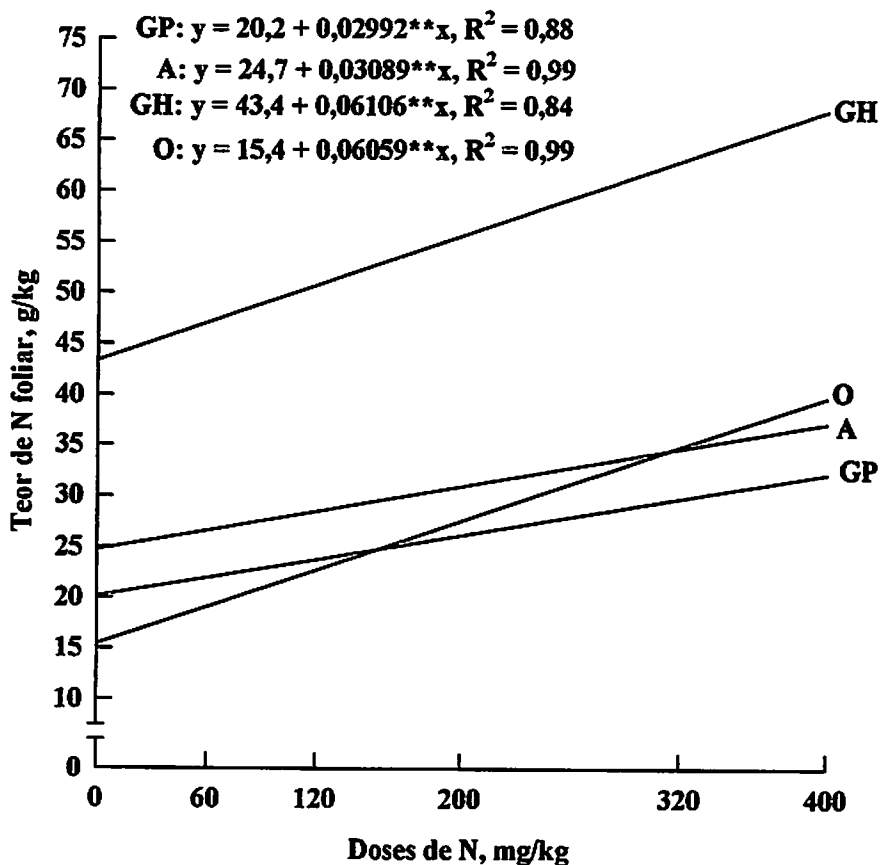


FIGURA 2. Teor de N foliar no feijoeiro em função das doses de N nos solos Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O) (\*\* significativo a 1%).

De acordo com Tolley-Henry e Raper (1986), o alto acúmulo de amônio nos tecidos das plantas acarreta um declínio na atividade fotossintética, de modo que essa atividade pode atingir níveis menores que aqueles adequados à demanda de respiração das plantas. Com isso, começa a haver uma degradação de compostos orgânicos nitrogenados, que passam a ser usados como fonte de

energia. A contínua degradação desses compostos resulta no acúmulo de amônia, o que, em última fase, restringe o crescimento, desenvolvimento e produção das plantas. Deve-se destacar, porém, que nesses solos previamente corrigidos provavelmente não predomina N na forma  $\text{NH}_4^+$ .

No caso específico do GH, que possui o maior teor de matéria orgânica, bem acima dos demais, houve uma diminuição na produção de grãos com o aumento da dose de nitrogênio. Silva (1994) observou grandes quantidades de  $\text{NO}_3^-$  resultantes do processo de nitrificação em solos com maiores teores de matéria orgânica. Além disso, esses teores foram ainda maiores quando esses solos tinham pH mais elevado. A presença de níveis populacionais mais elevados de microrganismos nitrificadores, bem como a maior disponibilidade de amônio para estes organismos, podem ter acelerado a nitrificação, tendo em vista que os níveis de amônio presente no solo constituem fator primário a condicionar a atividade de nitrificadores. Os altos teores de nitrato observados nestes solos causam preocupações, principalmente nos níveis mais elevados de saturação por bases, já que, com a prática da calagem, visando elevar o pH de 6,0 a 6,5, quase todo o nitrogênio estará na forma de nitrato, que é prontamente absorvido pelas plantas.

Além disso, esta grande quantidade de nitrato poderá levar a grandes perdas de nitrogênio por lixiviação e/ou denitrificação do íon nitrato, em condições de campo (Silva, 1994).

Os coeficientes lineares das equações que indicam o teor foliar de N na dose zero mostram uma capacidade bem diferenciada do GH, em relação aos demais, em fornecer nitrogênio às plantas sob condições de ausência de adubação nitrogenada (Figura 2).

Substituindo-se nas equações da Figura 2, para cada solo, as doses de N correspondentes à produção máxima de MSGR, 90% da máxima e redução de 10% da máxima (Tabela 2), estimaram-se os níveis críticos foliares de N

correspondentes a essas produções, denominando-se nível crítico inferior aquele para 90% e superior aquele para redução de 10% da MSGR (Tabela 3).

**TABELA 3.** Níveis críticos de N foliar estimados nos solos de várzea para o feijoeiro correspondente a 90% da produção máxima (inferior), produção máxima e redução de 10% da máxima (superior)

Solo	Nível crítico		
	Inferior	Máxima	Superior
	.....g/kg.....		
GP	25,33	28,86	32,40
A	29,06	34,64	40,21
GH	-	43,40	-
O	29,82	40,92	52,01

Segundo Rajj et al. (1996), a faixa de teor foliar de N considerada adequada para feijoeiro encontra-se entre 30-50 g kg<sup>-1</sup>. Comparando os teores encontrados nas doses de N equivalente a uma redução de 10% da produção máxima de MSGR, para o GP, A, O, respectivamente, com a faixa considerada ideal para a cultura, observa-se que, mesmo com estas elevadas adubações, os teores foliares ficaram dentro ou pouco acima da faixa ótima. Os níveis críticos inferiores nas folhas, equivalentes a 90% da máxima produção de MSGR, encontram-se abaixo da faixa ótima da literatura. De acordo com Faquin et al. (1995), as diferenças entre as faixas críticas observadas e as da literatura são devidas, possivelmente, a diversos fatores como época de cultivo, método utilizado, doses dos outros nutrientes aplicados, idade da planta ou do órgão amostrado, época de amostragem, condições de cultivo – campo ou controlada, entre outros.

Nem sempre ocorre uma relação entre teor foliar e produção, podendo verificar-se uma série de situações em que a relação não é direta (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). Observou-se, para o GH, um efeito depressivo da adubação nitrogenada na produção de grãos (Figura 1), enquanto que os teores

foliares aumentaram linearmente com o aumento das doses, levando assim a uma relação inversa entre teores foliares e produção (Figura 2).

Segundo Silva (1994), observam-se grandes quantidades de N nitrificado em solos com teores elevados de matéria orgânica, após correção da acidez, levando a uma relação direta entre saturação por bases e nitrificação. Através da Tabela 1 observa-se que o teor de matéria orgânica do GH é 4,5 vezes maior que os demais, sofrendo assim, provavelmente, influência extremamente maior da calagem na nitrificação. Este resultado é confirmado pela maior produção de grãos na dose zero de N do GH, em relação ao GP e O. Provavelmente, o nitrogênio proveniente da mineralização da matéria orgânica, no GH, foi suficiente para atender a demanda do feijoeiro, estando seu teor foliar na dose zero ( $43,4 \text{ mg kg}^{-1}$  de N) dentro da faixa considerada adequada por Raij et al. (1996). Já o aumento das doses de nitrogênio, acarretou um aumento linear no teor foliar de N, estando estes no limite superior ou acima do ideal, levando a um efeito depressivo do nitrogênio na produção de grãos.

O alto acúmulo de N no tecido das plantas cultivadas no GH pode ter sido resultado, também, de um efeito de concentração, face ao menor crescimento das plantas neste solo, o que pode ser verificado pelo declínio da produção de matéria seca de grãos (Figura 1). Segundo Tolley e Raper (1986), com um fornecimento em excesso de N, a planta apresenta um declínio na atividade fotossintética, de modo que esta atividade pode atingir níveis abaixo daqueles adequados à demanda de respiração das plantas. Com isto, começa a haver uma degradação de compostos orgânicos nitrogenados, que passam a ser usados como fonte de energia, levando ao acúmulo de amônia, redução no crescimento e produção e, por último, intensificando o efeito de concentração.

As plantas crescidas no solo orgânico foram as que apresentaram teores foliares mais baixos de N, na ausência de adubação nitrogenada (Figura 2), fato este que não pode ser generalizado para outras áreas com o mesmo solo, devido

a amostra ter sido coletada em uma área artificialmente drenada, o que acarreta queda nos teores de matéria orgânica (Tabela 1).

#### **4.4 Número de vagens por planta e número de grãos por vagem**

A análise de variância para número de vagens por planta (Tabela 1A) mostrou que tanto os solos quanto as doses de nitrogênio influenciaram significativamente ( $P < 0,01$ ) esta variável, sendo também altamente significativa a interação entre os dois fatores. A equação quadrática foi a que melhor se ajustou aos dados do A e O, enquanto que o GP e GH ficam melhor representados pela equação linear. A exceção do GH, todos os solos apresentaram aumento do número de vagens com o aumento da dose de nitrogênio (Figura 3).

Apesar do número de vagens por planta ser uma característica controlada geneticamente na planta, houve resposta significativa desta variável às doses de nitrogênio aplicadas em cada solo.

As equações que relacionam o número de vagem por planta (Figura 3) e matéria seca de grãos (Figura 1), em função das doses de N aplicadas, se assemelham, mostrando a relação direta do número de vagem com a produção, concordando com dados de diversos pesquisadores (Santa Cecília, Ramalho e Silva, 1974; Mariano, 1998 e Teixeira, 1998).

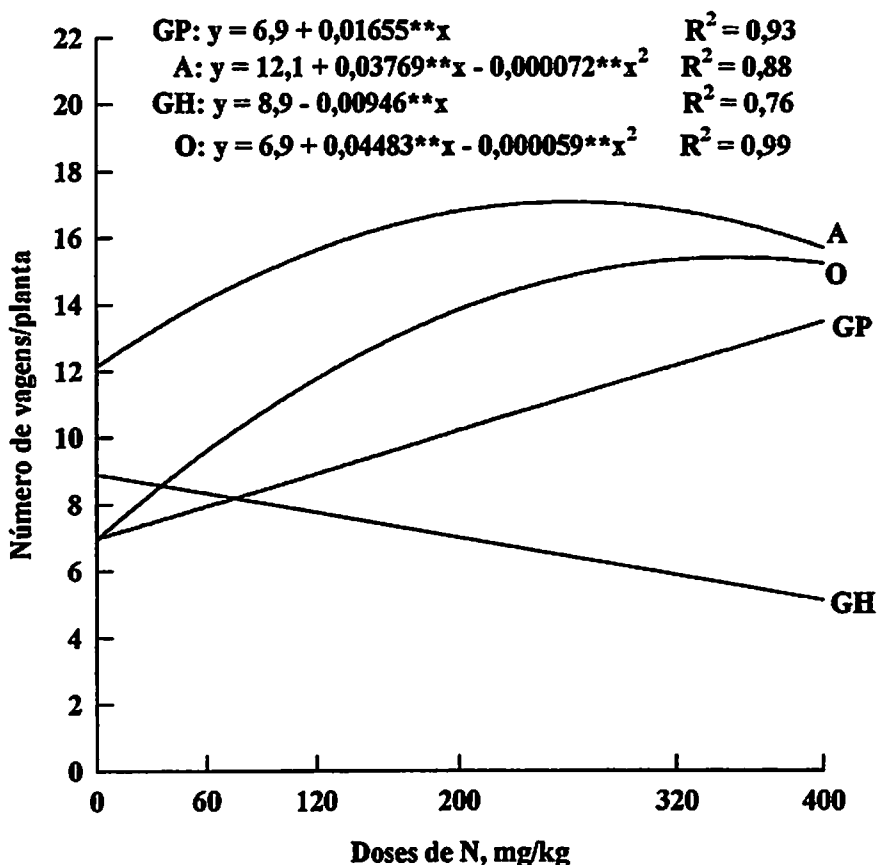


FIGURA 3. Número de vagens por plantas (NVP) do feijoeiro em função das doses de N nos solos Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O). (\*\* significativo a 1% pelo teste t).

Para a variável número de grãos por vagem, a interação entre solos e doses de N não foi significativa (Tabela 1A). Os solos Aluvial e Orgânico apresentaram maior número de grãos por vagem (Figura 4), sendo que este último não diferiu estatisticamente do Glei Pouco Húmico e Glei Húmico. Não houve efeito do nitrogênio para esta característica, concordando também com os resultados obtidos por Berger (1983).

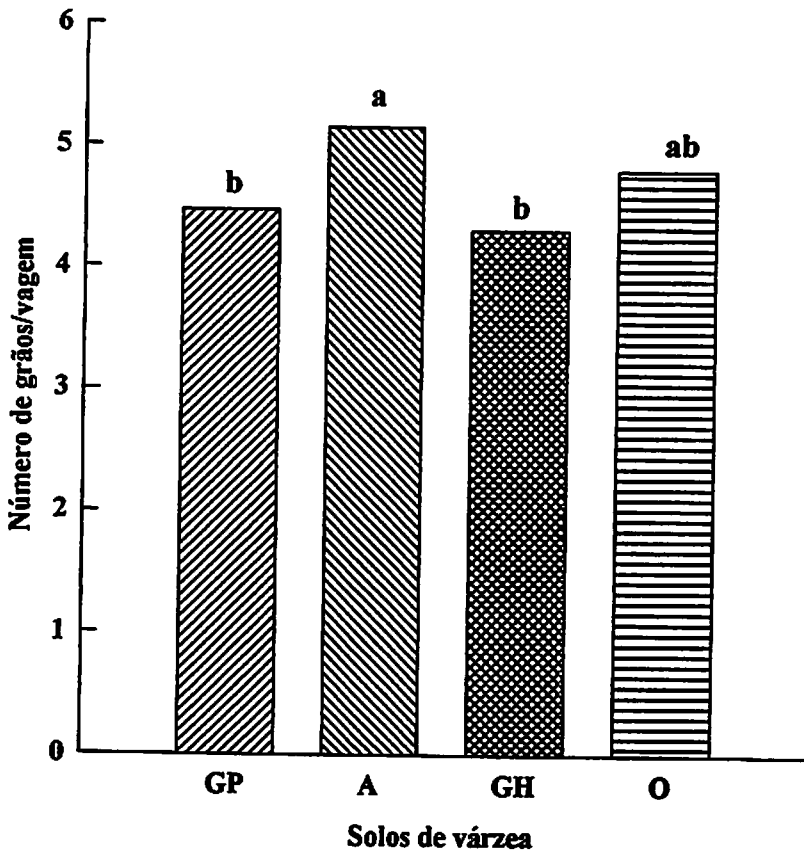


FIGURA 4. Número médio de grãos por vagens (NGV) do feijoeiro nos solos Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A), Gleí Húmico (GH) e Orgânico (O) (DMS Tukey a 5% = 0,50)

#### 4.5 Teores de macronutrientes nas folhas

A análise de variância (Tabela 2A) mostrou efeito significativo de solos e adubação nitrogenada sobre os teores de todos os macronutrientes nas folhas do feijoeiro, enquanto que a interação doses de N x solo para os nutrientes Mg e



Ca não foi significativa. Quanto a precisão experimental (Tabela 2A), nota-se que o ensaio apresentou boa precisão, com valores de coeficiente de variação baixos e próximos aos encontrados por Amane (1997) e Teixeira (1998).

Na Tabela 4 encontram-se os teores de macronutrientes nas folhas das plantas coletadas no florescimento. Os teores, de maneira geral, estão no limite inferior ou abaixo da faixa tida como adequada por Raij et al. (1996), com exceção do cálcio para GP e A e magnésio para GP, A e GH. Os teores tidos como adequados por Raij et al. (1996) são: N:30-50; P:2,5-4,0; K:20-24; Ca:10-25; Mg:2,5-5,0; S:2,0-3,0 g/kg.

Para o fósforo, nos solos GP, GH e O, observou-se uma tendência de diminuição do teor com o aumento da dose de nitrogênio aplicada (Tabela 5), evidenciando ter ocorrido uma diluição do nutriente na matéria seca da planta, concordando com resultados obtidos por Andrade (1997). O mesmo efeito foi observado para o enxofre nos solos GP e O, confirmando os dados encontrados por Teixeira (1998).

Observou-se ainda que para o potássio, cálcio e magnésio, de maneira geral, houve aumento dos seus teores nas folhas, com o aumento das doses de N aplicadas nas adubações (Tabela 4), concordando com os resultados obtidos por Silva (1988) e Teixeira (1998). Estes autores, que estudaram o efeito da adubação nitrogenada sobre o feijoeiro, atribuíram esses resultados, ao efeito do nitrogênio sobre o crescimento e desenvolvimento da planta, principalmente sobre o sistema radicular, o que teria favorecido a absorção dos nutrientes pelas plantas.

Os maiores teores de Ca e Mg no solo GP (Tabela 4) podem também ser explicados pela maior quantidade de corretivo aplicada neste solo em comparação aos demais por ocasião da aplicação de calcário, o que elevou a disponibilidade destes nutrientes no solo.

TABELA 4. Teores foliares dos macronutrientes (g/kg), no florescimento do feijoeiro cultivado nos solos de várzea

Doses de N (mg/kg)	Doses de N (mg dm <sup>-3</sup> )					
	0	60	120	200	320	400
.....P.....						
GP	1,62	2,00	1,94	1,72	1,42	1,57
A	1,75	1,93	1,86	2,09	2,02	2,09
GH	1,52	1,22	1,40	1,19	1,02	1,28
O	2,74	1,93	2,14	2,52	2,28	2,55
DMS da interação solo x dose N (Tukey, 5%) = 0,44						
.....K.....						
GP	10,05	11,29	8,15	10,67	12,55	11,30
A	15,75	14,28	15,12	17,01	20,16	17,64
GH	18,82	18,19	19,25	17,57	17,57	16,94
O	10,08	10,08	11,34	11,76	13,44	14,28
DMS da interação solo x dose N (Tukey, 5%) = 3,77						
.....Ca.....						
GP	53,23	56,74	50,98	50,50	57,94	56,45
A	24,03	24,55	22,16	26,23	27,84	26,68
GH	16,66	16,75	18,78	17,48	20,39	19,07
O	19,50	18,43	17,26	20,19	21,17	20,72
DMS solo (Tukey, 5%) = 2,65						
DMS doses de N (Tukey, 5%) = 3,62						
.....Mg.....						
GP	11,84	13,32	11,03	11,91	13,21	13,86
A	5,36	5,43	5,09	5,81	6,36	6,36
GH	4,82	5,13	6,10	5,48	8,02	7,64
O	3,33	3,32	3,28	3,82	4,43	4,49
DMS solo (Tukey, 5%) = 0,84						
DMS doses de N (Tukey, 5%) = 1,14						
.....S.....						
GP	1,73	2,05	1,28	1,39	1,37	1,61
A	0,97	0,84	1,06	1,78	1,54	1,36
GH	2,01	2,39	2,04	2,03	2,12	2,69
O	2,59	1,64	1,52	2,18	1,25	1,89
DMS da interação solo x dose (Tukey, 5%) = 0,67						

## 5 CONCLUSÕES

1. O feijoeiro respondeu em produção de grãos à aplicação de nitrogênio, quando cultivado nos solos Glei Pouco Húmico, Aluvial e Orgânico, enquanto que a aplicação de N no solo Glei Húmico provocou um declínio na produção.
2. As doses de N equivalentes à 90% da produção máxima de grãos variaram entre os solos (GP, A e O) e os níveis críticos de N foliar equivalentes a 90% da produção máxima (inferior) e redução de 10% da máxima (superior) variaram entre os solos de várzea, indicando que as diferenças entre seus atributos físicos, mineralógicos e químicos, principalmente a matéria orgânica, afetaram a produção e os níveis críticos foliares de nitrogênio.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A. de. Identificação de deficiências de macronutrientes em três solos de várzeas de Minas Gerais. Lavras: ESAL, 1985. 93p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ALMEIDA, A.A.F.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. et al. Desenvolvimento e partição de assimilados em *Phaseolus vulgaris* submetido a três doses de nitrogênio e três níveis de luz. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.23, n.8, p.837-847, ago.1988.
- ALMEIDA, L.D. de; BULISANI, E.A.; GALLO, P.B. et al. Resposta de três cultivares de feijoeiro à adubação nitrogenada. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia. Anais... Goiânia: EMBRAPA – CNPAF, 1982. p.184-187.
- ALVARENGA, P.E. de. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenada e molibídica e à inoculação com *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli. Lavras: UFLA, 1995. 67p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.de; BRAGA, J.M. et al. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1., 1988. Viçosa. Resumos... Viçosa: UFV, 1988. p. 68-69.
- AMANE, M.I.V. Adubação nitrogenada e molibídica da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na Zona da Mata de Minas Gerais: efeito de doses, calagem e rizóbio. Viçosa: UFV, 1997. 83p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- AMANE, M.I.V. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada e molibídica. Viçosa: UFV, 1994. 70p. (Dissertação – Mestrado em Fitotecnia).
- ANDRADE, C.A.B. de. Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de várzea do sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1997. 107p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- ANDRADE, M.J.B. de; ALVARENGA, P.E. de; SILVA, R. da et al. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenada e molibídica e

- à inoculação com *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. Anais... Goiânia: EMBRAPA – CNPAF, 1996. p.71-73.
- ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. 786p.
- AZEVEDO, H.J. de. Efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba: ESALQ, 1984. 85p. (Dissertação – Mestrado em Irrigação e Drenagem).
- AZEVEDO, W.R. Níveis críticos de boro em rabanete cultivado em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1999. 53p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BERGER, P.G. Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada e fosfatada. Viçosa: UFV, 1983. 67p. (Dissertação – Mestrado em Fitotecnia).
- BERGER, P.G.; VIEIRA, C.; CHAGAS, J.M. et al. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada e fosfatada. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia. Anais... Goiânia: EMBRAPA – CNPAF, 1982. p.178-181.
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A. (ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap.30, p.374-390.
- BREMMER, J.M.; EDWARDS, A.P. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. **Soils Science Society of American Proceedings**, Madison, v.29, n.5, p.504-507, Sept./Oct. 1965..
- BULISANI, E.A.; ALMEIDA, L.D. de; ALVES, S. Resposta de cinco cultivares de feijão a níveis crescentes de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O em condições de campo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA EM FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia. Anais... Goiânia: EMBRAPA – CNPAF, 1982. p.187-189.

- CABALLERO, S.S.V. Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Carioca. Piracicaba: ESALQ, 1982. 154p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CABALLERO, S.S.V.; LIBARDI, D.L.; REICHARDT, K. et al. Utilização do fertilizante aplicado a uma cultura de feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.20, n.9, p.1031-1040, set.1985.
- CAPECHE, C.L. Efeito da adubação com N, P, K e micronutrientes sobre a cultura do arroz irrigado em solo de várzeas no Estado do Rio de Janeiro. Itajaí: UFRRJ, 1991. 160p. (Dissertação – Mestrado em Ciência do Solo).
- CARDOSO, A.A.; FONTES, L.A.N.; VIEIRA, C. Efeito de fontes e doses de adubo nitrogenado sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Ceres, Viçosa, v.25, n.139, p.292-295, 1978.
- CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Solos de várzea de Minas Gerais. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.13, n.152, p.3-10, mar. 1988. (Exploração Racional de Várzea - II).
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. (ed.). Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap.13, p.545-566.
- DINIZ, A.R.; ANDRADE, M.J.B. de; CARVALHO, J.G. de et al. Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de nitrogênio (cobertura e semeadura) e de molibdênio foliar. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. Anais... Goiânia: EMBRAPA – CNPAF, 1996. p.71-73.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1982. 526p. (Boletim de Pesquisa, 1).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos e análises de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. n.p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** Serviço de Produção de Informação. **Recomendações técnicas para o cultivo do feijão: zonas 61 e 83.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1993. 93p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análises de solos, 2 ed.** Rio de Janeiro: ENBRAPA/CNPS, 1997. 212p. (Documentos 1).
- FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P. de; DUTRA, L.G.** Limitações químicas dos solos de cerrado e de várzea. In: **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Deficiências nutricionais na cultura ao feijoeiro e suas correções.** Goiânia: EMBRAPA, 1996. p.8-11. (EMBRAPA-CNPAF. Documento, 65).
- FAQUIN, V.** **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 277p.
- FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R. et al.** O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.19, n.1, p.87-94, jan./abr. 1995.**
- FRIZZONE, J.A.** **Funções de resposta do feijoeiro ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação.** Lavras: ESAL, 1986. 133p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- GALLO, J.R.; MIYASAKA, S.** Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos do florescimento à maturação. **Bragantia, Campinas, v.20, n.40, p.867-884, 1961.**
- GRANADOS, A.R.; ORTEGA, D.M.; ZARATE, L.G.** Influencia del peso seco y contenido de nitrogeno de los organos de la planta em el rendimento y contenido de proteina delgrano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Chapingo, v.11/12, n.54/55, p.47-52, 1986/1987.**
- HEILMAN, M.D.; CARTER, D.L.; GONZALES, C.L.** The ethylene glycol monoethyl ether (EMEG) technique for determining soil surface area. **Soil Science, Baltimore, v.100, n.6, p.409-413, 1965.**

- HUBER, D.M. The role of mineral nutrition in defense. In: HORSFALL, J.G.; COWLING, E.B. (eds.). *Plant disease: an advanced treatise*. New York: Academic Press, 1980. Cap. 21, v.5, p.381-406.
- IGUE, T. *Interações com grupos de experimentos de adubação do feijoeiro com N, P e K, seguindo o esquema fatorial 3x3x3*. Piracicaba: ESALQ, 1968. 81p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia).
- JUNQUEIRA NETO, A. *Resposta diferencial de variedades de feijão à adubação nitrogenada e fosfatada*. Viçosa: UFV, 1977. 99p. (Tese – Doutorado em Fitotecnia).
- KLAMT, E. Solos de várzea do Rio Grande do Sul; características , distribuição e limitações ao uso. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DE UTILIZAÇÃO DAS VÁRZEAS DO RS, 1., 1984, Porto Alegre. *Anais...* Brasília: PROVARZEAS/PROFIR, 1986. p.111-118.
- MACHADO, J.R.; ROSOLEM, C.A.; NAKAGAWA, J. Adubação foliar do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): V-Estudo de doses e épocas de aplicação de adubo nitrogenado (URAM). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia. *Anais...* Goiânia: EMBRAPA – CNPAF, 1982. p.196-198.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 215p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação do feijoeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1. 1971, Campinas. *Anais...* Viçosa: UFV, 1972. p.211-242.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 210p.
- MARIANO, E.D. *Resposta, níveis críticos e eficiência de extratores para boro em feijoeiro cultivado em solos de várzea*. Lavras: UFLA, 1998. 82p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

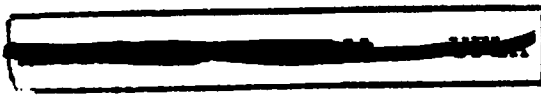


- MARSCHNER, H.** Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, N.L.** Iron oxide removal from soils and clys by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, Clarkson, v.3, p.317-327, 1960.
- MURATA, Y.** Physiological response to nitrogen in plants. In: **EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y. et al.** *Physiological Aspects of Crop Yield*. Madison: American Society of Agronomy, 1969. p.235-259.
- NATR, L.** Mineral Nutrients – a ubiquitous stress factor for photosynthesis. *Photosynthetica*, Netherlands, v.27, n.3, p.271-294, 1992.
- OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S.; DUTRA, L.G.** Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: **ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. et al.** (eds.). *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996. p.169-221.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.; CAMARGO, M.N.** *Classes de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento*. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- OLIVEIRA, S.A.de; THUNG, M.R.T.** Nutrição mineral. In: **ZIMMERANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T.** (eds.). *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.175-212.
- OZINAME, O.; VAN GIJN, H.; ULEX, P.L.G.** Effect nitrifications inhibitions of the force and efficiency of nitrogenons fertilizers under simulated humit tropical condition. *Tropical Agriculture*, Trinidad, v.20, n.3, p.211-217, 1983.
- PARRA, M.S.** Nutrição e adubação. In: **FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ.** *O feijão no Paraná*. Londrina: 1989. p.70-100. (Circular, 63).
- PONNANPERUMA, F. N.** The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, New York, v.24, p.29-96, 1972.

- PONS, A.L.; GOEFFERT, C.F. Efeito da adubação nitrogenada em feijoeiro. I- Solo Camaquã. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, v.11, n.2, p.259-266, 1975.
- PROVARZEA. Programa nacional para o aproveitamento de terras de várzea irrigáveis – PROVARZEAS – Brasil. Brasília, DF, 1981. n.p.
- RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. et al. (eds). *Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC, 2.ed. 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).
- RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. et al. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170p.
- REDINBAUGH, M.G.; CAMPBELL, W.H. Higher plant response to environmental nitrate. *Physiologia Plantarum*, Denmark, v.82, n.4, p.640-650, 1991.
- REIS, M.S.; VIEIRA, C.; BRAGA, J.M. Efeitos de fontes, de doses e épocas da aplicação de adubos nitrogenados sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres*, Viçosa, v.19, n.101, p.25-42, 1972.
- RESENDE, M.; Curi, N.; RESENDE, S.B. et al. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: Neput, 1995. 304p.
- ROSOLEM, C.; MARUBAYASHI, O.M. Seja o doutor do seu feijoeiro. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.68, p.1-16, dez. 1994.
- ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. et al. (coord.). *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p. 353-416.
- SANTA CECÍLIA, F.C.; RAMALHO, M.A.P.; SILVA, C.C. Efeitos da adubação NPK na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na zona sul de Minas Gerais. *Agros*, Lavras, v.4, n.2, p.3-10, jul./dez. 1974.
- SILVA, A.J. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada. Lavras: ESAL, 1988. 85p. (Tese – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

- SILVA, A.J.; RAMALHO, M.A.P.; GUEDES, G.A.A. et al. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada. I – Produção de grãos e seus componentes. *Ciência e Prática*, Lavras, v.13, n.3, p.348-355, 1989.
- SILVA, C.A. Efeito da correção da acidez e de fontes de nitrogênio na nitrificação do solo e no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Lavras: ESAL, 1994. 104p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. *Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 266p.
- SOUZA, M.M.M. Aplicação de uréia por fertirrigação e via foliar na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Lavras: ESAL, 1994. 60p. (Dissertação – Mestrado em Fitotecnia).
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. Redwood City: The Benjamin/Cummings, 1991. 559p.
- TANAKA, A. Physiological response to nitrogen in plants: discussion. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y. et al. *Physiological aspects of crop yield*. Madison: American Society of Agronomy, 1969. p.262-263.
- TEIXEIRA, I.R. Comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) submetido a diferentes densidades de semeadura e níveis de adubação nitrogenada. Lavras: UFLA, 1998. 67p. (Dissertação – Mestrado em Fitotecnia).
- TESAROVA, J.; NATR, L. Effect of nitrogen deficiency on growth and chloroplast number in spring barley. *Photosynthetica*, Netherlands, v.20, n.4, p.371-376, 1986.
- TOLLEY-HENRY, L.; RAPER, C.D. Utilization of ammonium as a nitrogen source. *Plant Physiology*, Maryland, v.82, p.54-60, 1986.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).

**VILLA, M.R. Potássio em solos de várzea e nutrição potássica do feijoeiro.**  
Lavras: UFLA, 1999. 53p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).



## ANEXOS

### ANEXO A

Página

TABELA 1A	Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da produção de matéria seca de grãos (MSGR), número de vagens por planta (VGPL), número de grãos por vagem (GRVG) e teor foliar de N na época do florescimento do feijoeiro em função de doses de N e solos .....	45
TABELA 2A	Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) dos teores foliares de macronutrientes na época de florescimento do feijoeiro em função de doses de N e solos .....	45

TABELA 1A. Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da produção de matéria seca de grãos (MSGR), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e teor foliar de N na época de florescimento do feijoeiro em função de doses de N e solos

F.V.	Quadrado médio			
	MSGR	NVP	NGV	N
Doses de N	35,3531**	36,9416**	0,3205ns	822,2472**
Solo	442,6442**	274,3611**	3,3871**	4493,2622**
Doses de N x solo	20,1965**	20,9694**	0,6043ns	45,9782**
Resíduo	1,6822	3,5138	0,4416	11,0241
Média Geral	10,08	11,08	4,67	34,29
C.V. (%)	12,86	16,91	14,20	9,68

ns e \*\* não significativo e significativo ao nível de 1% pelo teste de F, respectivamente

TABELA 2A. Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) dos teores foliares de macronutrientes na época de florescimento do feijoeiro em função de doses de N e solos

F.V.	Quadrado médio				
	P	K	Ca	Mg	S
Doses de N	0,110*	15,972**	44,393**	9,923**	0,443**
Solo	5,008**	311,827**	6882,677**	345,363**	3,938**
Doses de N x solo	0,214**	8,518**	10,119ns	1,484ns	0,557**
Resíduo	0,046	3,325	12,239	1,225	0,103
Média Geral	1,82	14,30	29,32	7,06	1,72
C.V. (%)	11,78	12,74	11,93	15,67	18,66

ns, \* e \*\* não significativo e significativo ao nível de 5 e 1% pelo teste de F, respectivamente.