

CARLOS ALBERTO SILVA

EFEITO DA CORREÇÃO DA ACIDEZ E DE FONTES DE  
NITROGÊNIO NA NITRIFICAÇÃO DO SOLO E NO CRES-  
CIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)

Dissertação apresentada à Escola Superior de  
Agricultura de Lavras, como parte das exigências do  
Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de  
Concentração Solos e Nutrição de Plantas, para a  
obtenção do grau de MESTRE.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS  
LAVRAS — MINAS GERAIS

1994

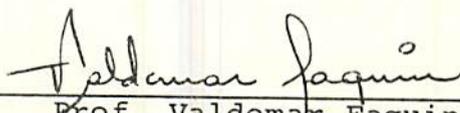


EFEITO DA CORREÇÃO DA ACIDEZ E DE FONTES DE NITROGÊNIO NA  
NITRIFICAÇÃO DO SOLO E NO CRESCIMENTO DO FEIJOEIRO (Phaseolus  
vulgaris L.)

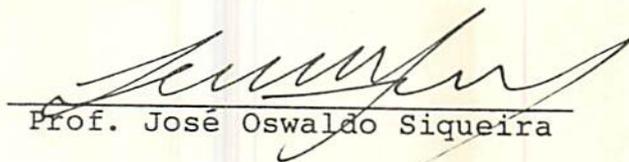
APROVADA: Lavras, 18 de fevereiro de 1994



Prof. Fabiano Ribeiro do Vale  
(Orientador)



Prof. Valdemar Faquin



Prof. José Oswaldo Siqueira



Prof. Nilton Curi

*Aos meus pais Valdemar e Rosa  
e irmãos Leopoldo e Marli,  
pelo amor e companhia*

*OFEREÇO*

*À minha irmã Edna ("In memorian"),  
pela compreensão*

*DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e financiamento do projeto de pesquisa no qual este estudo está inserido.

Ao Professor Fabiano Ribeiro do Vale pela orientação, amizade e ensinamentos. Aos professores José Oswaldo Siqueira, Valdemar Faquin, Luis Roberto Guimarães Guilherme e Nilton Curi pela colaboração e sugestões.

Aos professores Mozart Ferreira Martins e Geraldo Aparecido de Aquino Guedes pela ajuda e amizade durante a execução do curso.

Aos colegas de pós-graduação, professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo pela amizade e saudável convívio durante o decorrer deste curso.

Aos graduandos Luiz Arnaldo Fernandes e Álvaro Vilela Resende, bolsistas de iniciação científica do CNPq, pela prestimosa ajuda na execução deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Introdução.....	04
2.2. Efeito da acidez do solo sobre a nitrificação.....	05
2.3. Efeito de fertilizantes nitrogenados sobre a nitrifi- cação.....	11
2.4. Aspectos ecofisiológicos relacionados à nutrição ni- trogenada.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. Introdução.....	24
3.2. EXPERIMENTO I - Efeito da correção da acidez do solo sobre a nitrificação.....	25

3.3.	EXPERIMENTO II - Efeito da adição de nitrogênio na forma de uréia ou sulfato de amônio sobre a nitrificação.....	31
3.4.	EXPERIMENTO III - Crescimento inicial do feijoeiro: efeito da acidez do solo e da adição de fontes de nitrogênio.....	33
3.5.	Análises de material de solo e tecido vegetal.....	36
3.6.	Análise estatística.....	37
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1.	EXPERIMENTO I - Efeito da correção da acidez do solo sobre a nitrificação.....	39
4.2.	EXPERIMENTO II - Efeito da adição de nitrogênio na forma de uréia ou sulfato de amônio sobre a nitrificação.....	55
4.3.	EXPERIMENTO III - Crescimento inicial do feijoeiro: efeito da acidez do solo e da adição de fontes de nitrogênio.....	64
5.	CONCLUSÕES.....	84
6.	RESUMO.....	86
7.	SUMMARY.....	89
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
9.	APÊNDICE.....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Classificação, simbologia e vegetação original de amostras de onze solos do Sul de Minas Gerais....	26
2	Caracterização química e física de amostras (0-20 cm) dos onze solos antes da aplicação dos tratamentos.....	26
3	Análise química de amostras da camada superficial (0-20 cm) dos solos, submetidos a doses crescentes de $\text{CaCO}_3$ e $\text{MgCO}_3$ , incubados por 30 dias.....	28
4	Caracterização química de amostras da camada superficial (0-20 cm) de quatro solos da região Sul de Minas Gerais, no início do cultivo do feijoeiro..	34

5	Coefficiente de correlação entre alguns parâmetros da acidez do solo e o nitrato produzido em onze solos do Sul de Minas Gerais incubados com sulfato de amônio. A (Dados de 11 solos em estudo, com n=77); B (Dados de 10 solos em estudo, com n=70).....	49
6	Teores iniciais e finais de amônio e de nitrato, valores de pH (água) no início e no final do período de incubação e variação de pH em função da incubação de cinco solos do Sul de Minas Gerais..	60
7	Produção de matéria seca do feijoeiro, cultivado por 32 dias em quatro solos do Sul de Minas Gerais, em função da aplicação de 150 mg N/Kg solo, através do uso de diferentes fontes de nitrogênio	66
8	Balanco geral do nitrogênio mineral no solo, através da incubação, em experimento paralelo de nitrificação, concomitante ao cultivo do feijoeiro, de amostras de quatro solos do Sul de Minas Gerais e variação de pH em função do cultivo do feijoeiro.....	68

Quadro

Página

9      Composição da parte aérea do feijoeiro cultivado em quatro solos do Sul de Minas Gerais, submetido a diferentes fontes de nitrogênio e a dois níveis de acidez do solo, na fase inicial de crescimento (Média de 3 repetições).....

75

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1	Influência dos níveis de percentagem de saturação por bases sobre o nitrato produzido, após incubação dos solos Orgânico, LR, HGH, HGP, LU e LV com sulfato de amônio por um período de quinze dias..... 41
2	Influência dos níveis de percentagem de saturação por bases sobre o nitrato produzido, após incubação com sulfato de amônio por um período de quinze dias dos solos LE, LV-Din, C e TR.... 42

## Figura

## Página

- 3 Influência dos níveis de percentagem de saturação por bases sobre os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ , avaliados ao término da incubação com sulfato de amônio dos solos Orgânico, HGH, HGP, LV, LR e LU..... 44
- 4 Influência dos níveis de percentagem de saturação por bases sobre os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ , avaliados ao término da incubação com sulfato de amônio dos solos LV-Itu, LV-Din, C, TR e LE..... 45
- 5 Influência dos teores de alumínio trocável sobre o nitrato produzido, durante os quinze dias de incubação com sulfato de amônio, nos solos LV, LR, HGH, HGP, LV-Din e Orgânico..... 53

Figura

Página

6 Efeito da acidez do solo e da adição de nitrogênio na forma de uréia ou de sulfato de amônio na produção de nitrato dos solos LR e LV-Itu (Letras distintas indicam diferença significativa,  $p(0,05$ , entre níveis de pH do solo, dentro de cada fonte de nitrogênio; a presença de asterisco indica diferença significativa entre fontes de nitrogênio, dentro de cada nível de pH do solo). 56

7 Efeito da acidez do solo e da adição de nitrogênio na forma de uréia ou de sulfato de amônio na produção de nitrato dos solos HGP, LE e LV-Din (Letras distintas indicam diferença significativa,  $p(0,05$ , entre níveis de pH do solo, dentro de cada fonte de nitrogênio; a presença de asterisco indica diferença significativa entre fontes de nitrogênio, dentro de cada nível de pH do solo)..... 57

8 Influência de diferentes fertilizantes nitrogenados sobre o incremento acumulado de crescimento foliar do feijoeiro cultivado por trinta e dois dias em um solo Glei Húmico (HGH) e submetido a dois níveis de pH de cultivo..... 78

## Figura

## Página

- 9      Influência de diferentes fertilizantes nitrogenados sobre o incremento acumulado de crescimento foliar do feijoeiro cultivado por trinta e dois dias em um Latossolo Roxo (LR) e submetido a dois níveis de pH de cultivo..... 79
- 10     Influência de diferentes fertilizantes nitrogenados sobre o incremento acumulado de crescimento foliar do feijoeiro cultivado por trinta e dois dias em um Latossolo Vermelho Escuro (LE) e submetido a dois níveis de pH de cultivo..... 80
- 11     Influência de diferentes fertilizantes nitrogenados sobre o incremento acumulado de crescimento foliar do feijoeiro cultivado por trinta e dois dias em um Latossolo Vermelho Amarelo (LV-Itu) e submetido a dois níveis de pH de cultivo. 81

## 1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um dos nutrientes que mais tem limitado o crescimento das plantas no Brasil. As reduzidas aplicações desse nutriente, a baixa eficiência dos fertilizantes e o baixo efeito residual da adubação nitrogenada são alguns dos principais fatores limitantes ao crescimento e produção vegetal.

No solo, o nitrogênio encontra-se tanto sob a forma orgânica quanto mineral, predominando a forma orgânica, que não é prontamente absorvida pelas plantas. Com o processo da mineralização do nitrogênio orgânico, formam-se inicialmente íons amônio. Tanto o amônio proveniente da mineralização da matéria orgânica, quanto aquele oriundo da aplicação de fertilizantes amoniacais pode ser nitrificado, ou seja, ser convertido a nitrato, através da mediação quase que exclusiva de bactérias autotróficas dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*.

Do ponto de vista agrônomo, o processo da nitrificação assume importância, na medida em que a formação microbiológica de nitrato constitui-se no principal meio de

fornecimento deste ânion às plantas. Entretanto, como um resultado dessa transformação, o nitrogênio é convertido numa forma passível de ser perdida do sistema solo, pela lixiviação ou pela desnitrificação, em condições de baixo suprimento de  $O_2$ . A lixiviação do nitrato se dá em função deste íon ser pouco retido na camadas superficiais dos solos das regiões tropicais, onde há um predomínio de cargas negativas nas superfícies dos colóides. As perdas de nitrogênio via este processo assumem importância, principalmente em sistemas de cultivo em que se adiciona altas quantidades de nitrogênio na forma de nitrato, ou em solos com condições favoráveis a conversão do amônio a nitrato, na medida em que o nitrato lixiviado se acumula nas águas subterrâneas, e que o consumo destas águas, com níveis de nitrato além dos permitido, pode causar problemas de saúde, tanto em seres humanos, quanto em animais.

Assim, as plantas adquirem o nitrogênio mineral de que necessitam basicamente nas formas de nitrato ou amônio. Dada as implicações da presença das formas nítrica e/ou amoniacal no solo sobre o desenvolvimento e crescimento das plantas, já que estas variam na sua habilidade em absorver e utilizar amônio e nitrato, assume a nitrificação um importante papel em determinar no solo diferentes relações dessas duas formas de nitrogênio. Desse modo, quando as raízes de plantas são expostas a diferentes quantidades e relações de nitrato e amônio, torna-se uma preocupação o estudo do efeito dessas duas fontes de nitrogênio na nutrição das plantas.

Um outro ponto a ser considerado, com relação à importância do processo de nitrificação, é o de que a eficiência da adubação nitrogenada depende diretamente da proporção entre nitrato e amônio no solo. Em princípio, a manutenção da forma amoniacal no solo, ao invés da forma nítrica, seria desejável, uma vez que o amônio não é facilmente perdido por lixiviação e, muito menos pelo processo da denitrificação. Por sua vez, para o nitrato, apenas por volatilização de  $N_2$  ou  $N_2O$ , através da sua redução, as perdas podem atingir a faixa de 10 a 50% do nitrogênio adicionado pelos fertilizantes nitrogenados na camada arável dos solos agrícolas. Contudo, certas espécies de plantas são sensíveis ao constante suprimento de amônio, em função dessa forma ser mais tóxica às plantas, em concentrações mais baixas do que o nitrato. De modo geral, as plantas tendem a preferir um suprimento balanceado de nitrato e amônio.

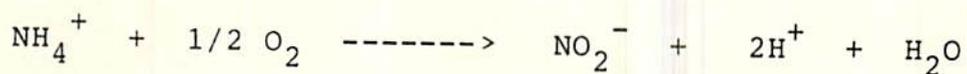
Enfim, por considerações nutricionais, de eficiência de uso de fertilizantes nitrogenados ou de aspectos ecológicos, torna-se da maior importância avaliar a capacidade dos solos em transformar o amônio em nitrato, ou seja, avaliar a sua capacidade de nitrificação.

O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da correção da acidez do solo e da adição de fontes de nitrogênio sobre o processo da nitrificação e sobre o crescimento do feijoeiro, em solos representativos da Região Sul de Minas Gerais.

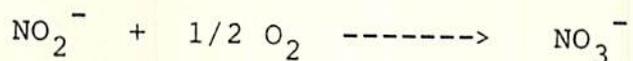
## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Introdução

O processo da nitrificação consiste na oxidação biológica do amônio a nitrato, em duas etapas. Numa primeira fase, o amônio é oxidado a nitrito, conforme reação que se segue:



Tão logo o nitrito seja formado, numa segunda fase, ocorre a oxidação desta forma nitrogenada a nitrato, como se segue:



Invariavelmente, estas duas reações são mediadas no solo pela atividade de dois grupos de bactérias quimioautotróficas. O gênero *Nitrosomonas* atua como mediador na conversão do amônio a nitrito. A oxidação do nitrito a nitrato se dá em função da atuação de bactérias do gênero *Nitrobacter*.

Embora os microrganismos autotróficos sejam caracterizados como os principais agentes mediadores da nitrificação, outras rotas de conversão do amônio a nitrato tem sido sugeridas. Uma delas inclui a produção de nitrito e nitrato através da presença de microrganismos heterotróficos (FOCHT & VERSTRAETE, 1977).

Os nitrificadores autotróficos são estritamente aeróbicos e dependem do energia produzida na oxidação do amônio a nitrito, a fim de efetuarem a redução do gás carbônico. Além disso, são altamente influenciados pelos fatores ambientais, tais como: suprimento de amônio, pH do solo, aeração do solo, temperatura e umidade do solo (HAYNES, 1986a). Dentre estes fatores, o mais estudado tem sido a acidez do solo, possivelmente devido à importancia desta característica química do solo para o crescimento das plantas.

## 2.2. Efeito da acidez do solo sobre a nitrificação

A influência do pH do solo sobre a nitrificação é, "a priori", um efeito na proliferação e na atividade dos microrganismos mediadores deste processo. Ao contrário do processo da mineralização, o qual se caracteriza por ser mediado por diversos grupos de microrganismos, a nitrificação é mediada predominantemente por um pequeno grupo de bactérias autotróficas (ALEXANDER, 1965). Desse modo, esse último processo se mostra

fortemente afetado por fatores ambientais, notadamente pela acidez do solo.

A faixa de valores de pH em que ocorre a nitrificação é bastante ampla. FREITAS (1985), citando vários autores, afirma que nitrificadores ativos foram encontrados em faixa de pH variando de 3,9 a 13.

Os solos ácidos, com valores de pH inferiores a 5,0, tem sido caracterizados por apresentarem reduzidas taxas de nitrificação (MORRIL & DAWSON, 1967; DANCER et al., 1973; WEIER & GILLIAM, 1986). A correção da acidez do solo tem contribuído para o aumento nos teores de nitrato produzido (CORNFIELD, 1959; DANCER et al., 1973). Nesse sentido, a taxa de nitrificação se mostra diretamente correlacionada com o pH e a otimização das reações no solo para os organismos que oxidam o amônio a nitrito ocorre em pH acima da neutralidade, enquanto que para os que oxidam o nitrito a nitrato, os valores de pH se situam bem próximos da neutralidade (MORRIL & DAWSON, 1962). Entretanto, VENKATAKRISHNAN (1980) observou acúmulo de  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  em quantidades significativas em solo com valor de pH igual a 10,65, contrariando afirmações de MORRIL & DAWSON (1967) de que em solos com valores de pH acima de 7,5 níveis tóxicos de  $\text{NH}_3$  resultam na inibição da atividade das nitrobactérias e no acúmulo exclusivo de nitrito. Estudando o efeito de valores de pH do solo na formação de N mineral em solos tropicais, SAHRAWAT (1982) afirmou que o limite inferior de pH para a nitrificação autotrófica está

em torno de 4,5. Neste estudo, as quantidades de nitrato formadas nos solos foram positivamente correlacionadas com o pH ( $r=0,86$ ) mas não se mostrou dependente do C orgânico ou N total. De forma similar, DANCER et al. (1973) observou um aumento de cinco vezes nos teores de nitrato com a elevação de pH do solo de 4,5 para 6,5. WEIER & GILLIAM (1986), estudando o processo da nitrificação em solos orgânicos, verificaram uma fraca ( $r=0,52$ ) mas significativa correlação entre os valores de pH do solo e a taxa de nitrificação.

Em trabalho realizado por SANDANAM et al. (1978), a adição do equivalente a 2,8 t de  $\text{CaCO}_3$  por hectare elevou o valor de pH de 4,0 para 5,2 e triplicou a nitrificação; com a aplicação de 5,6 t de  $\text{CaCO}_3$ , houve elevação do valor de pH para 6,0 e ainda se observou aumento adicional da nitrificação. Num outro solo, considerado "mais pobre" pelos autores, a primeira dose de  $\text{CaCO}_3$  elevou o valor de pH para 6,0, havendo ligeiro aumento na intensidade da nitrificação; com a segunda dose, o valor de pH foi para 6,5, resultando em ligeira depressão da nitrificação. FREITAS (1985), de forma similar, quando da adição de 7,2 t de calcário calcítico por hectare, não obteve efeito da acidez do solo sobre o processo da nitrificação e sobre a população de microrganismos nitrificadores, à excessão da população medida aos setenta dias de incubação. Os autores acima concluíram que não é apenas a concentração hidrogeniônica do solo que determina a taxa de nitrificação nos solos ácidos. Segundo WEBER & GAINNEY (1962),

a adição de 0,05% de  $\text{CaCO}_3$ , que não alterou significativamente o valor de pH do solo, aumentou o acúmulo de nitrato em 63%. Esse fato sugere que a redução da concentração de  $\text{H}^+$  pela aplicação de  $\text{CaCO}_3$  não explica totalmente o efeito benéfico do calcário calcítico sobre a nitrificação. Somente o  $\text{Ca}^{++}$  também não é significativamente efetivo, uma vez que o cálcio aplicado como  $\text{CaSO}_4$  ou  $\text{CaHPO}_4$  em quantidade equivalente não resultou em aumento de nitrato.

No entanto, tem sido aventada a possibilidade de ocorrência de nitrificação em solos com elevada acidez. Neste sentido, KAILA (1954) observou a ocorrência de uma rápida nitrificação em solos orgânicos com pH igual a 3,7. Segundo ISHAQUE & CORNFIELD (1972), a nitrificação em solos orgânicos, com baixos valores de pH, pode ser devido à habilidade de grupos de bactérias nitrificadoras em adaptar-se a condições de solo de elevada acidez, embora a possibilidade de ocorrência de nitrificação heterotrófica não possa ser descartada. Tem sido sugerido (KAILA, 1954) que a oxidação do íon amônio em solos ácidos florestais só ocorrem em micro sítios com altos valores de pH, onde o processo de amonificação é intenso. De acordo com KILHAM (1990), o processo da nitrificação em solos agrícolas se mostra mediado principalmente por microrganismos quimioautotróficos, ao passo que em solos florestais, com elevada acidez, a nitrificação heterotrófica, presumidamente desempenhada por fungos, é dominante. Os possíveis mecanismos envolvidos com a

ocorrência de nitrificação em solos com baixos valores de pH seriam: adaptação dos microrganismos nitrificadores às condições de baixo pH; mudanças gradativas no ambiente de crescimento das plantas (KILHAM, 1990), além da presença de microrregiões com valores de pH diferentes daqueles obtidos para as amostras de solo de uma forma global (SCHMIDT, 1982).

A extensa faixa de valores de pH em que ocorre a nitrificação, aliado às controvérsias levantadas quanto a valores de pH ideais para a atuação dos microrganismos mediadores deste processo, talvez possam ser explicadas pela metodologia de determinação do potencial hidrogeniônico do solo. Deste modo, bactérias nitrificadoras podem ocupar micro sítios contendo valores de acidez diferentes do encontrado no solo como um todo (ALEXANDER, 1965), e neste microambiente pode haver condições de pH ideais para a atividade desses microrganismos nitrificadores.

O efeito da acidez do solo sobre o processo da nitrificação pode ser primariamente uma expressão da toxicidade de alumínio (BRAR & GIDDENS, 1968). De acordo com estes autores, é comum em solos ácidos a presença de reduzidos níveis de nitrato, em função do baixo nível populacional de organismos nitrificadores, condicionados pelos altos teores de alumínio trocável presentes nestas condições de acidez. Um estímulo ao processo da nitrificação tem sido obtido com a correção do Al trocável desses solos (NYBORG & HOYT, 1978).

Analisando ainda a influência dos parâmetros componentes da acidez do solo sobre a nitrificação, já foi observado também uma relação entre a percentagem de saturação por bases e por cálcio e a nitrificação (NAFTEL, 1931 e SANDANAM et al., 1978), de forma que se verificou um aumento na produção de nitrato com o acréscimo nos teores de cálcio e V(%) no solo. Nesse sentido, MORRIL & DAWSON (1967) obtiveram uma correlação positiva entre os teores de cálcio e a produção de nitrato ( $r=0,679$ ).

Por fim, um outro fator importante a ser considerado ao avaliar-se a intensidade da nitrificação nos solos é a concentração de substrato para atividade dos microrganismos nitrificadores. Quando esse processo se mostra mediado por organismos autotróficos, os níveis populacionais de *Nitrosomonas* spp e *Nitrobacter* spp se mostram diretamente afetados pelas concentrações de amônio e nitrito, respectivamente, encontrados nos solos. Em contraste aos nitrificadores autotróficos, os heterotróficos podem usar uma diversidade de compostos orgânicos reduzidos e de substâncias nitrogenadas como substrato. Isso se torna importante, na medida que uma maior intensidade na mineralização do nitrogênio tem sido alcançada com a correção da acidez do solo (NYBORG et al., 1988; NYBORG & HOYT (1978) e DANCER et al., 1973), e que a presença nos solos de teores elevados de matéria orgânica, potencialmente mineralizável, implicaria numa maior disponibilidade de substrato para os organismos nitrificadores.

Considerando a carência de trabalhos relacionados com o estudo do efeito de fatores ambientais sobre a nitrificação em solos da Região Sul de Minas Gerais, e as controvérsias levantadas quanto à influência dos parâmetros componentes da acidez do solo sobre este processo, assume importância a avaliação do efeito da correção da acidez sobre a nitrificação em solos com uma ampla variabilidade nas características químicas e físicas, que sejam representativos da região acima mencionada.

### 2.3. Efeito de fertilizantes nitrogenados sobre a nitrificação

A taxa de formação do nitrato não varia somente com as condições do solo mas ela se mostra dependente também do íon específico ou molécula carreadora do nitrogênio, na forma amoniacal ou amídica. Segundo ALEXANDER (1965), vários são os fatores que governam a variação nas velocidades de transformações do nitrogênio suprido pelos fertilizantes, merecendo destaque dentre estes a relativa disponibilidade da fonte de nitrogênio aos organismos nitrificadores e o efeito do fertilizante sobre o pH do solo.

A uréia, quando aplicada ao solo, sofre inicialmente a hidrólise numa reação mediada pela enzima urease, produzindo íons amônio e carbonato, resultando em altas concentrações de amônia e elevação, pelo menos localizadamente, do pH do solo a

valores que podem atingir a faixa de 8 a 9, o que frequentemente conduz a acumulação de nitrito. O acúmulo de nitrito deve ser considerado tendo em vista principalmente a fitotoxicidade apresentada por essa forma de nitrogênio e possíveis perdas do nitrogênio através do processo da denitrificação (YADVINDER-SINGH & BEAUCHAMP, 1987). O sulfato de amônio, por sua vez, quando aplicado ao solo, por dissolução, produz diretamente ions amônio, sendo caracterizado também por ser um fertilizante de natureza fisiológica ácida (MELLO, 1987).

A mudança na acidez do solo ocasionada pela adição de fertilizantes, com ação direta ou indireta sobre a população de nitrificadores, pode afetar marcadamente a conversão do amônio a nitrato. Quando o pH do solo se encontra próximo da neutralidade, a formação do nitrato a partir do nitrogênio proveniente do sulfato de amônio se dá de forma mais rápida, quando comparada àquela em que o N é oriundo dos compostos orgânicos nitrogenados (ALEXANDER, 1965).

MELLO et al. (1980), estudando a nitrificação do nitrogênio proveniente da uréia e do sulfato de amônio, através da adição de 200 e 400  $\mu\text{g N g}^{-1}$  solo nessas duas formas, na ausência e presença de  $\text{Ca(OH)}_2$ , suficiente para elevar o pH do solo a 7,0, observaram que a adição de  $\text{Ca(OH)}_2$  teve como consequência, para todos os tratamentos, maiores produções de nitrato. Contudo, de um modo geral, não foram observadas diferenças acentuadas entre a nitrificação do N da uréia e do

sulfato de amônio. Entretanto, SANDANAM et al. (1978) observou que o nitrogênio da uréia nitrificou mais rapidamente do que aquele oriundo do sulfato de amônio, na ausência de carbonato de cálcio, especialmente para o maior nível de N adicionado (184,9 kg/ha).

Em solos alcalinos, normalmente as diferenças na nitrificação do  $\text{NH}_4^+$  da uréia e do sulfato de amônio são mínimas, a não ser que haja uma drástica variação do pH do solo após a sua adição, ou no caso em que a concentração do íon  $\text{NH}_4^+$  seja elevada, a ponto de inibir a atividade da *Nitrobacter spp* (MELLO, 1987). ALEXANDER (1965) comparou a nitrificação da uréia e do sulfato de amônio em um solo de pH 7,4 não encontrando diferenças entre essas duas fontes de nitrogênio.

Apesar das informações de que a taxa de nitrificação é baixa em solos ácidos, no caso específico da uréia ela poderá ser alta, devido à elevação do pH em consequência da hidrólise no solo desse adubo (MELLO, 1987).

ENO & BLUE (1957) compararam a taxa de nitrificação em três solos ácidos do N da uréia, amônia anidra e sulfato de amônio, em condições de laboratório. Constataram que a nitrificação era mais rápida nos dois primeiros casos devido, possivelmente, a uma elevação de pH ocasionada por estes dois fertilizantes.

MARTIKAINEN (1985), em estudo do processo da nitrificação em solos florestais com diferentes valores de pH,

objetivando avaliar o efeito dos fertilizantes uréia, sulfato de amônio e sulfato de potássio sobre a nitrificação, verificou que as fontes sulfato de amônio e sulfato de potássio inibiram a nitrificação em baixos valores de pH do solo, mas não nos valores mais altos de pH. Ao contrário dos dois fertilizantes anteriores, a uréia estimulou a nitrificação para todos os níveis de pH testados. Segundo este autor, a inibição da nitrificação pelo sulfato de amônio não foi devido especificamente ao íon amônio, em função do sulfato de potássio ter ocasionado efeito similar sobre a nitrificação. Neste mesmo estudo, foi descartada um possível efeito osmótico dos sais sulfato de amônio e sulfato de potássio sobre a nitrificação, uma vez que a concentração de sal usada não afetou a nitrificação nos maiores níveis de pH do solo.

Ainda, em relação ao efeito da salinidade sobre a nitrificação do N da uréia e do sulfato de amônio, MELLO (1987), constatou que a salinidade e pH estavam correlacionados negativamente com a velocidade de nitrificação relativa aos dois fertilizantes.

Um outro efeito da uréia no solo, seria o de atenuar o processo de fixação do fósforo no solo, através da elevação do pH do solo durante a hidrólise desse adubo, ou em função da presença de compostos húmicos, originados face à síntese de compostos cáusticos na hidrolisação da uréia (HARTIKAINEN et al., 1991). A presença desses compostos atuaria, também, no sentido de retardar a adsorção de fósforo, de forma a aumentar a disponibilidade

desse elemento no solo, o que afeta a atividade das bactérias nitrificadoras, na medida em que estes microrganismos são influenciados pelos níveis de P disponíveis presentes nos solos (HAYNES, 1986a e PURCHASE, 1974).

Há que se considerar, também, quando se estuda a influência de fontes de nitrogênio sobre a nitrificação, o efeito acidificante deste processo. Segundo HAYNES (1986a), a nitrificação do amônio adicionado, via utilização de fertilizantes nitrogenados, resulta na adição ao solo de dois íons  $H^+$ , para cada ânion de nitrato acumulado. A nitrificação do amônio oriundo da mineralização da matéria orgânica, entretanto, acarreta a acumulação de apenas um próton, para cada íon de nitrato formado, em função do consumo de um íon  $H^+$  durante a etapa de amonificação (HAYNES, 1986a). A absorção do nitrato pelas plantas ameniza o efeito acidificante causado pela nitrificação, na medida que para cada íon absorvido pelas raízes das plantas, ocorre a excreção de uma molécula de  $OH^-$  ou  $HCO_3^-$ . Contudo, o aumento nas quantidades de nitrato produzido através da nitrificação pode resultar em significativas perdas deste ânion para camadas mais profundas do solo, via água percolada (NYE, 1981). Esta lixiviação do nitrato está necessariamente associada a perdas de Ca, Mg, K e Na, na medida que estes cátions movem em profundidade atuando como contraíons às moléculas de nitrato (HAYNES, 1986a). No estudo de MONTEIRO & WERNER (1977), a aplicação de 150 kg de nitrogênio por hectare, na forma de

sulfato de amônio, em pastagem de capim colônia, teve efeito depressivo no pH do solo, nos teores de  $K^+$ ,  $Ca^{++}+Mg^{++}$  trocáveis e influência significativa no aumento do  $Al^{+++}$  trocável. De acordo com PIERRE et al. (1971), a nitrificação e a subsequente lixiviação do nitrato pode ser a maior causa dos decréscimos nos valores de pH dos solos e da redução nos níveis de percentagem de saturação por bases nos solos agrícolas.

Assim, face à possibilidade da uréia e do sulfato de amônio, em níveis similares de pH do solo, condicionarem produções diferenciadas de nitrato, torna-se importante avaliar o efeito destas duas fontes de nitrogênio sobre a nitrificação em solos com diferentes características químicas e físicas e com graus variáveis de acidez do solo.

#### 2.4. Aspectos ecofisiológicos relacionados à nutrição nitrogenada

Por ser o nitrogênio o elemento requerido em maiores quantidades pelas plantas, assume esse nutriente um importante papel nos aspectos ecológicos voltados ao desenvolvimento e metabolismo das plantas. Isso é bem ilustrado pelo fato da adição de fertilizantes nitrogenados em ecossistemas naturais acarretar marcadas mudanças na composição e abundância das espécies presentes nestes ambientes (HAYNES, 1986b).

Na maioria dos solos cultivados, a forma predominante de nitrogênio é o nitrato, sendo esta a forma de N mais utilizada pelas plantas superiores. Contudo, em solos ácidos, onde a nitrificação é frequentemente inibida, o íon amônio se torna a forma predominante de N absorvida pelas plantas. Nestas condições de acidez, algumas espécies de plantas calcífugas (adaptadas à condições de elevada acidez) preferem, ou pelos menos toleram, um suprimento de N predominantemente na forma de amônio (KRAJINA et al., 1973). Um dos grupos de espécies calcífugas mais estudados, com relação à preferência por nitrato ou por amônio, é aquele pertencente à família Ericaceae. As espécies desta família pertencentes aos gêneros *Azalea*, *Rhododendron*, *Erica* e *Vaccinium*, no geral, absorvem preferencialmente o íon amônio em relação ao nitrato (HAVIL et al., 1974).

Segundo NELSON & SELBY (1974), algumas espécies florestais, originadas de solos ácidos, absorvem preferencialmente o nitrogênio na forma de amônio, enquanto que para outras espécies, oriundas de solos mais férteis, com valores de pH mais elevados, o nitrato se constitui no íon preferencialmente absorvido. Resultados muito similares a estes tem sido relatados para espécies de gramíneas (GIGON & RORISON, 1972).

Face ao exposto acima, diversos estudos têm mostrado que o fornecimento de amônio e nitrato, ou de uma forma ou de outra, ou de combinações de ambas, tem afetado o crescimento e a produtividade das plantas (BARBER & PIERZYNSKI, 1991). Segundo

HAYNES (1986b), este comportamento diferenciado se deve ao fato das plantas possuírem atributos fisiológicos e bioquímicos que as capacitam a absorverem e assimilarem os íons amônio e nitrato de forma peculiar. De acordo com este autor, a preferência por nitrato ou amônio estaria relacionada, principalmente, com a atividade da enzima redutase de nitrato, sendo que quanto menor a capacidade da espécie em reduzir o nitrato, maior seria sua preferência pelo íon amônio; E, ainda, estaria relacionada com interações entre o nitrato e amônio, durante o processo de absorção, com os íons Al e Mn, isto com vistas à resistência das plantas às condições de elevada acidez, e, por fim, resistência das plantas à toxidez de amônio.

A predominância do amônio no solo ou em soluções de cultivo causa preocupação, na medida em que esta forma de nitrogênio pode ser tóxica, em algumas situações de cultivo, ao crescimento e desenvolvimento das plantas (MENGEL & KIRKBY, 1987). Esta redução no crescimento das plantas, quando o íon amônio se constitui na forma predominante de nitrogênio, tem sido atribuída aos efeitos combinados de acidificação da rizosfera, além do influxo excessivo de cátions em relação aos ânions absorvidos e, também, à acumulação tóxica de amônia nos tecidos das plantas (TOLLEY-HENRY & RAPER, 1986).

É interessante notar que, sob condições de acidez elevada, com predominância do íon amônio, altas concentrações de Al e Mn, potencialmente tóxicos, se fazem presentes. O íon

amônio, nesses ambientes, inibe a absorção destes dois metais, atenuando os efeitos maléficis desses cátions às plantas (RORISON, 1980). Por outro lado, a excessiva absorção de amônio resulta na diminuição da absorção de cátions básicos (Ca, Mg e K), notadamente do íon potássio, e num aumento na absorção de fosfato e sulfato pelas plantas (HAYNES, 1986b).

O íon nitrato, ao contrário do amônio, estimula a absorção de cátions e inibe a absorção de ânions, sendo a inibição desses últimos, possivelmente devido à competição das hidroxilas extrusadas pelas plantas durante a absorção do íon nitrato (HAYNES & GOH, 1978). Assim, a forma de nitrogênio presente no meio de cultivo exerce um pronunciado efeito sobre o crescimento e a composição química das plantas (HAYNES, 1986b).

A predominância de amônio, do ponto de vista ecológico, seria desejável, na medida em que o íon nitrato é mais suscetível às perdas por lixiviação e denitrificação (SAHRAWAT, 1982). Embora a maioria das plantas possam utilizar o amônio em baixos níveis, tão eficientemente quanto o nitrato, a fim de suprir suas exigências em nitrogênio, certas espécies se mostram muito sensíveis ao contínuo suprimento de nitrogênio nessa forma (McELHANNON & MILLS, 1978). Plantas supridas predominantemente com o íon amônio tem seu crescimento reduzido e apresentam menores teores de Ca, Mg e K, embora as concentrações de P e Cl sejam maiores do que aquelas verificadas nos tecidos de plantas que adquirem o nitrogênio na forma de nitrato (KIRKBY, 1968).

Segundo KIRKBY & HUGHES (1970), a rápida assimilação de amônio pode afetar seriamente o crescimento das plantas, a menos que estas possuam um elevado suprimento de carboidratos. A disponibilidade de carboidratos regula a incorporação de amônio à estrutura de compostos orgânicos e, dessa forma, governa a ocorrência de efeitos tóxicos desta fonte de nitrogênio nos tecidos das plantas, incluindo redução na atividade fotossintética (TOLLEY-HENRY & RAPER, 1986).

GUAZELLI (1988), estudando o efeito do nitrato e do amônio no crescimento, assimilação e eficiência de utilização do nitrogênio por três cultivares de feijoeiro, observou que, com a predominância de amônio na solução nutritiva, houve uma redução no crescimento das raízes, e que isto comprometeu a aquisição de nutrientes pelo feijoeiro, notadamente de cálcio. Neste mesmo estudo, o efeito prejudicial do amônio pareceu estar mais ligado às condições de acidificação da rizosfera, consequência da maior absorção de cátions em relação a ânions.

A eficiência de utilização do íon amônio só é aumentada quando se procede a correção da acidez provocada pela absorção dessa fonte de nitrogênio pelas plantas (TOLLEY-HENRY & RAPER, 1986). Plantas de *Phaseolus vulgaris* L., nutridas com o íon amônio, só tiveram seu crescimento aumentado quando se adicionou ao meio de cultivo íons carbonatos (BARKER et al., 1966a). Da mesma forma, plantas de tomate e de soja, cultivadas em solução nutritiva e nutridas com amônio, apresentaram crescimento igual

àquelas que adquiriram o nitrogênio na forma de nitrato, quando a acidez do meio de cultivo foi monitorada e automaticamente controlada para pH 6,0 ou 5,8 (RUFTY et al., 1983). A resposta favorável das plantas à nutrição com amônio depende basicamente do controle da acidez no ambiente radicular (BARKER et al., 1966b). A calagem, ou a correção da acidez de soluções nutritivas e a neutralização da acidez fisiológica são práticas que tem permitido o crescimento normal de plantas submetidas ao íon amônio (BARKER et al., 1966b).

Na verdade, as maiores produções das culturas têm sido verificadas quando ambas as formas de nitrogênio são supridas às plantas. Embora a adição de amônio às soluções de cultivo, caracteristicamente, acarretem uma diminuição da absorção de nitrato, os maiores rendimentos de matéria seca pelas plantas, tem sido obtidos quando as plantas são submetidas a níveis altos de nitrato e baixos de amônio (HAYNES, 1986b).

A exata razão da superioridade dos meios de cultivo contendo amônio e nitrato em relação aqueles em que o nitrogênio é suprido exclusivamente pelo nitrato ainda não esta clara. Possivelmente, a melhor performance desses meios de cultivo se deva ao fato do íon amônio requerer menor energia para ser incorporado no processo de síntese de proteínas e compostos nitrogenados, já que o nitrato precisa ser reduzido antes de ser assimilado e isto, implica num maior dispêndio de energia (COX & REISENAUER, 1973). Uma outra possibilidade, seria a baixa

capacidade de sistemas redutores de nitrato em suprir níveis adequados de N reduzido às plantas (HAYNES, 1986b). Neste sentido, BERNARDO et al. (1984), verificaram que as maiores produções de matéria seca de *Sorghum bicolor* L. foram obtidas em soluções nutritivas contendo o nitrogênio nas formas de amônio e nitrato. Da mesma forma, em estudo com plântulas de milho, as maiores quantidades de N absorvido e assimilado foram obtidas quando o N foi suprido na forma de nitrato e amônio, comparado com aquelas quantidades observadas nos tecidos de plantas cultivadas com nitrato ou amônio (SCHRADER et al., 1972).

Além da presença de nitrato e amônio no meio de cultivo, as plantas se mostram sensíveis, também, à proporção destas duas formas de nitrogênio. McELHANNON & MILLS (1978), em estudo que procurou avaliar a influência de diferentes relações de nitrato/amônio no crescimento de *Phaseolus lunatus* L., observou que as maiores produções de matéria seca foram obtidas quando 75% ou mais do nitrogênio estava na forma de nitrato. Neste mesmo estudo, quando 50% ou mais do N era suprido na forma de amônio, houve uma alteração na morfologia do sistema radicular, com diminuição no peso seco das raízes. O pico de absorção de N pelo *Phaseolus lunatus* L. foi obtido quando o amônio supriu 50% do nitrogênio, havendo uma redução na área foliar dessa espécie com esse nível de amônio na solução nutritiva, diminuição essa que se intensificou ainda mais com o aumento dos níveis de amônio no meio de cultivo. Essa redução no

crescimento das folhas foi também verificada por TOLLEY-HENRY & RAPER (1986), quando do estudo do efeito da acidez sobre o crescimento e acumulação de nitrogênio pela soja, no tratamento em que as plantas foram cultivadas em solução nutritiva com pH igual a 4,1 e com o nitrogênio sendo suprido na forma de amônio.

A influência de nitrato e/ou amônio sobre o desenvolvimento das plantas, além das proporções dessas duas formas de nitrogênio, depende também do estágio de desenvolvimento da cultura. Para a soja, JONES et al. (1982), observou que os maiores rendimentos de grãos foram obtidos quando o nitrato foi suprido durante todo o ciclo da cultura e que os menores rendimentos se deram com a mudança da relação amônio/nitrato de 1:1, para 1:0.

Para plântulas de trigo, a absorção de amônio foi maior do que a de nitrato no estágio inicial de desenvolvimento dessa cultura. Com o avanço do estágio de desenvolvimento, plantas dessa espécie absorveram o nitrogênio preferencialmente na forma de nitrato (SPRATT, 1974).

Assim, tendo em vista que os diferentes fertilizantes nitrogenados, em condições de elevada e reduzida acidez do solo, podem propiciar às plantas diferentes relações nitrato/amônio, torna-se importante avaliar o efeito da acidez do solo e da adição de diferentes fontes de nitrogênio, como uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio sobre o crescimento inicial do feijoeiro em solos com diferentes características químicas e físicas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Introdução

A parte experimental deste estudo constou de três fases. Na primeira, avaliou-se a influência da correção da acidez do solo sobre a nitrificação em onze solos. Na segunda fase, estudou-se, para cinco dos onze solos, o efeito da adição de nitrogênio na forma de uréia e sulfato de amônio sobre a nitrificação, em três diferentes níveis de acidez do solo. Por fim, numa terceira fase, avaliou-se o efeito da adição de diferentes fontes de nitrogênio sobre o crescimento do feijoeiro em quatro dos onze solos. Os solos, utilizados no presente estudo são representativos da região Sul de Minas Gerais.

Os dois primeiros experimentos foram conduzidos no laboratório de Relação Solo-Planta do Departamento de Ciência do Solo da ESAL. A condução do terceiro estudo se deu em casa de vegetação pertencente ao Departamento acima citado.

### 3.2. EXPERIMENTO I - Efeito da correção da acidez do solo sobre a nitrificação

O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da correção da acidez sobre a nitrificação em solos representativos da região Sul de Minas Gerais, através da incubação de oito solos de sequeiro e três solos do ecossistema várzea: Glei Húmico, Glei Pouco Húmico e Orgânico.

Preliminarmente, amostras dos onze materiais de solos foram secas ao ar e tamisadas em peneira com malha de 2 mm, para posterior caracterização química e física. Os resultados dessas determinações, bem como a classificação, vegetação original e a simbologia dos solos estudados são apresentados nos quadros 1 e 2. Os solos utilizados no experimento, à exceção do LU e C (Município de São Sebastião da Vitória), do LV-Itu (Município de Itumirim) e do LE (Município de Itutinga), foram amostrados no município de Lavras, retirando-se material da camada de 0-20 cm de profundidade.

Logo após a caracterização química e física, amostras dos onze materiais de solos em estudo foram incubadas por trinta dias com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  puro para análise, através da utilização de sete níveis de percentagem de saturação por bases (V%): Natural, 25%, 50%, 75%, 100%, 125% e 150%. Para cálculo da necessidade de calcário, face aos níveis de V% utilizados no experimento, utilizou-se a fórmula adotada pelo IAC, proposta por RAIJ (1991). Durante o período de incubação dos solos, procurou-se fornecer todas as condições propícias à reação do corretivo.

QUADRO 1 - Classificação, simbologia e vegetação original de amostras de onze solos do Sul de Minas Gerais.

Classes de solo	Simbologia*	Vegetação original
Latossolo Roxo	LR	Floresta Trop. subcaducifólia
Latossolo Verm. Amarelo	LV-Din	Cerrado Trop. subcaducifólio
Latossolo Verm. Amarelo	LV-Itu	Cerrado Trop. subcaducifólio
Latossolo Verm. Amarelo com horizonte A húmico	LV	Floresta Trop. subcaducifólia
Terra Roxa Estruturada	TR	Floresta Trop. subcaducifólia
Latossolo Verm. Escuro	LE	Cerrado Trop. subcaducifólio
Latossolo Variação Una	LU	Cerrado Trop. subcaducifólio
Cambissolo	C	Campo Cerrado
Glei Húmico	HGH	Campo Tropical hidrófilo
Glei Pouco Húmico	HGP	Campo Tropical hidrófilo
Orgânico	O	Campo Tropical hidrófilo

\* Simbologia a ser utilizada na caracterização dos solos.

QUADRO 2 - Caracterização química e física de amostras (0-20 cm.) dos onze solos antes da aplicação dos tratamentos.

Solo	pH água	P	K	Al	H+Al	Ca	Mg	N total	MO	Textura		
										Areia	Silte	Argila
		-mg/kg-	---cmol (+) / dm <sup>3</sup> ---			-----%						
LR	5,0	3	156	0,8	7,9	0,9	0,8	0,33	5,6	32	21	47
LV-Din	5,2	4	42	0,6	5,0	0,3	0,1	0,18	4,0	27	29	44
LV-Itu	5,2	1	16	0,1	1,3	0,1	0,1	0,04	0,7	65	13	22
LV	4,9	2	41	1,8	11,0	0,7	0,2	0,27	5,6	44	16	40
TR	5,2	2	28	1,4	6,3	1,4	0,2	0,26	4,3	22	46	32
LE	5,2	1	36	0,6	6,3	0,3	0,1	0,17	4,3	46	21	33
LU	5,3	4	73	0,3	4,0	0,7	0,2	0,17	4,4	34	36	30
C	4,7	1	44	0,7	5,6	0,4	0,2	0,17	4,6	18	28	54
HGH	5,5	3	51	0,7	7,9	2,0	0,3	0,51	9,2	28	42	30
HGP	5,2	5	69	1,9	7,0	0,8	0,2	0,16	2,9	52	36	12
O	5,6	3	109	1,7	11,0	0,5	0,1	0,67	17,2	29	41	30

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com os tratamentos sendo distribuídos num arranjo fatorial 11 x 7 (Onze solos e sete níveis de V%), em três repetições.

Terminada a etapa de incubação dos solos com calcário, procedeu-se a lavagem dos mesmos com água destilada, aplicando-se duas vezes o volume total de poros, visando retirar-se o excesso de sais formados em função da adição do corretivo. A caracterização química, efetuada após a incubação dos onze solos, e considerando os sete níveis teóricos de V%, encontra-se no quadro 3.

Após a etapa de lavagem, procedeu-se novamente a secagem e tamisagem dos materiais de solo, efetuando-se a seguir a coleta de 10 cm<sup>3</sup> de solo de cada tratamento, quantidade essa que foi acondicionada em copos plásticos, em três repetições. Adicionou-se, em cada copo, nitrogênio na concentração de 100 mg/kg de solo, utilizando-se o sulfato de amônio como fonte. Procedeu-se a cobertura de cada recipiente plástico, através do uso de folha de alumínio, que era retirada a cada dois dias a fim de executar-se a aeração das amostras de solo incubadas. Em copos adicionais, também em três repetições, determinaram-se os teores iniciais de amônio e nitrato e os valores de pH em água.

A seguir, efetuou-se a incubação dos onze materiais de solo por um período de quinze dias, em estufa com temperatura controlada a 26 °C. Procurou-se manter, durante esse período de incubação, 60% do volume total de poros dos solos ocupados com

QUADRO 3 - Análise química de amostras da camada superficial (0-20 cm) dos solos submetidos a doses crescentes de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , incubados por 30 dias.

Solo	Nível de V%	calcário aplicado	pH		Ca	Mg	Al	H+Al	m	V
			-----	água $\text{CaCl}_2$						
		-g/kg-	-----cmol (+) / dm <sup>3</sup> -----				-----%			
LR	Natural	0,00	4,9	4,1	1,1	0,7	0,7	11,0	24	17
	25%	0,20	5,0	4,2	1,7	0,5	0,5	9,8	16	21
	50%	1,45	5,4	4,7	3,8	0,6	0,1	6,3	2	43
	75%	2,70	5,8	5,2	5,3	0,9	0,1	4,5	1	59
	100%	3,95	6,1	5,6	6,3	0,5	0,1	2,9	1	71
	125%	5,20	6,5	6,0	8,1	0,4	0,1	2,3	1	79
	150%	6,45	6,9	6,5	9,3	0,5	0,1	2,1	1	83
LV-Din	Natural	0,00	5,1	4,1	0,4	0,2	0,5	7,0	42	9
	25%	0,44	5,5	4,4	1,2	0,2	0,2	5,6	12	21
	50%	1,13	5,8	4,9	2,1	0,6	0,1	4,0	3	41
	75%	1,82	6,1	5,3	3,1	0,8	0,1	3,2	2	56
	100%	2,50	6,3	5,7	4,0	0,8	0,1	2,6	2	65
	125%	3,19	6,5	6,1	4,5	1,0	0,1	2,1	2	73
	150%	3,88	6,8	6,5	5,3	1,2	0,1	1,9	1	78
LV-Itu	Natural	0,00	5,2	4,8	0,3	0,1	0,1	1,9	18	19
	25%	0,07	5,2	5,1	0,4	0,1	0,1	1,7	16	24
	50%	0,26	5,6	5,6	0,7	0,1	0,1	1,5	11	36
	75%	0,44	6,3	6,3	0,8	0,3	0,1	1,3	8	47
	100%	0,63	6,7	6,6	1,1	0,2	0,1	1,2	7	53
	125%	0,82	7,1	6,9	1,5	0,1	0,1	1,1	6	60
	150%	1,00	7,3	7,0	1,6	0,2	0,0	1,1	0	63
LV	Natural	0,00	4,7	4,0	1,0	0,1	1,8	13,7	60	8
	25%	0,54	4,8	4,1	1,5	0,5	1,4	12,3	40	15
	50%	2,52	5,4	4,7	4,2	0,6	0,2	7,0	4	41
	75%	4,02	5,9	5,2	6,0	1,4	0,1	5,0	1	60
	100%	5,52	6,1	5,6	6,8	1,7	0,1	3,6	1	70
	125%	7,02	6,4	5,9	8,0	1,7	0,1	2,9	1	77
	150%	8,52	6,6	6,3	8,5	1,9	0,1	2,1	1	83

Continua...

QUADRO 3 (Continuação)

Solo	Nível de V%	calcário aplicado	pH		Ca	Mg	Al	H+Al	m	V
			-----	-----						
			-g/kg-		-----cmol (+) / dm <sup>3</sup> -----			-----%		
O	Natural	0,00	5,2	4,0	1,0	0,1	1,8	20,5	54	7
	25%	1,07	5,4	4,3	2,5	0,6	0,9	16,6	20	18
	50%	2,56	5,5	4,6	4,7	1,1	0,3	12,3	5	34
	75%	4,05	5,5	5,0	6,9	1,7	0,1	9,8	1	48
	100%	5,53	5,6	5,1	8,1	2,0	0,1	7,0	1	60
	125%	7,02	5,7	5,4	9,7	2,4	0,1	6,3	1	66
	150%	8,51	5,7	5,6	10,9	2,9	0,1	5,0	1	74
TR	Natural	0,00	5,2	4,2	1,6	0,1	0,5	7,9	22	18
	25%	0,16	5,4	4,3	1,9	0,2	0,3	6,3	12	26
	50%	1,16	5,7	4,9	3,1	0,7	0,1	4,5	3	46
	75%	2,16	6,1	5,4	4,6	0,9	0,1	2,9	2	66
	100%	3,16	6,3	5,9	5,7	1,1	0,1	2,3	1	75
	125%	4,16	7,0	6,1	6,6	1,4	0,1	1,9	1	81
	150%	5,16	7,3	6,4	7,2	1,4	0,1	1,5	1	85
LE	Natural	0,00	5,1	4,1	0,4	0,2	0,4	7,9	37	8
	25%	0,67	5,4	4,6	1,5	0,3	0,2	5,6	10	25
	50%	1,59	5,8	5,1	2,5	0,8	0,1	3,6	3	49
	75%	2,52	6,2	5,4	3,4	0,8	0,1	2,9	2	60
	100%	3,44	6,7	5,9	4,3	1,0	0,1	2,3	2	70
	125%	4,37	7,1	6,2	5,0	0,9	0,1	1,9	2	76
	150%	5,29	7,3	6,4	5,6	1,0	0,1	1,3	1	84
LU	Natural	0,00	5,0	4,3	0,8	0,2	0,2	6,3	15	16
	25%	0,10	4,9	4,4	0,8	0,3	0,1	5,6	7	19
	50%	0,74	5,1	4,7	1,7	0,4	0,1	4,5	4	34
	75%	1,38	5,4	5,0	2,1	0,7	0,1	3,6	3	45
	100%	2,01	5,8	5,4	3,0	0,6	0,1	2,9	3	56
	125%	2,65	6,1	5,7	3,8	0,8	0,1	2,6	2	65
	150%	3,29	6,3	5,9	4,5	0,8	0,1	2,1	2	72
C	Natural	0,00	5,2	4,0	0,6	0,2	0,5	6,3	36	13
	25%	0,44	5,4	4,4	1,2	0,3	0,2	5,0	11	25
	50%	1,23	5,7	5,0	2,1	0,7	0,1	3,6	3	45
	75%	2,02	6,3	5,6	3,2	0,7	0,1	2,6	2	61
	100%	2,80	6,6	6,1	4,1	0,9	0,1	3,6	2	59
	125%	3,59	6,9	6,5	4,8	0,6	0,1	1,9	2	74
	150%	4,38	7,3	6,9	5,7	0,8	0,1	1,3	1	84

Continua...

QUADRO 3 (Continuação)

Solo	Nível de V%	calcário aplicado	pH		Ca	Mg	Al	H+Al	m	V
			-----	-----						
			-g/kg-		-----cmol (+) / dm <sup>3</sup> -----			-----%----		
HGH	Natural	0,00	5,2	4,4	2,6	0,2	0,9	11,0	23	21
	25%	0,05	5,1	4,4	2,8	0,1	1,0	11,0	25	22
	50%	1,34	5,2	4,7	4,8	0,4	0,3	9,8	5	35
	75%	2,63	5,5	5,0	6,5	0,8	0,1	7,0	1	51
	100%	3,91	5,7	5,3	7,7	1,5	0,1	5,6	1	62
	125%	5,20	5,9	5,6	9,1	1,6	0,1	4,5	1	71
	150%	6,49	6,1	5,8	10,0	2,1	0,1	4,0	1	75
HGP	Natural	0,00	5,1	3,9	0,7	0,4	1,4	9,8	52	12
	25%	0,45	5,2	4,2	1,7	0,2	0,9	7,9	30	21
	50%	1,48	5,4	4,8	3,0	0,8	0,2	5,0	5	44
	75%	2,50	5,8	5,3	4,3	1,1	0,1	3,6	2	61
	100%	3,53	6,3	5,9	5,3	1,3	0,1	2,3	1	75
	125%	4,55	6,7	6,4	6,0	1,4	0,1	1,5	1	83
	150%	5,58	7,3	7,0	6,4	1,6	0,1	1,2	1	87

água. Ao término dos quinze dias de incubação, determinaram-se, novamente, o pH em água, o teor de amônio remanescente e o teor de nitrato produzido. Este último parâmetro foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{NO}_3^- \text{ Produzido} = (\text{NO}_3^- \text{ Final}) - (\text{NO}_3^- \text{ Inicial})$$

onde,

$\text{NO}_3^-$  Produzido = Nitrato formado durante os quinze dias de incubação do materiais de solo;

$\text{NO}_3^-$  Final = Nitrato avaliado ao término dos quinze dias de incubação dos materiais de solo;

$\text{NO}_3^-$  Inicial = Nitrato avaliado no início do período de incubação dos materiais de solo.

O efeito dos parâmetros relacionados à acidez do solo sobre o nitrato produzido foi avaliado mediante análise de regressão, com o uso de vários modelos, utilizando-se dentre esses aquele de melhor ajuste, que foi refletido pelo maior coeficiente de correlação.

### 3.3. EXPERIMENTO II - Efeito da adição de nitrogênio na forma de uréia ou sulfato de amônio sobre a nitrificação

Numa segunda fase, procurou-se avaliar o efeito da adição de nitrogênio na forma de uréia ou sulfato de amônio sobre a nitrificação, através da incubação de cinco solos: HGP, com três níveis de pH (5,1; 5,4 e 6,3); LR, com três níveis de pH (4,9; 5,4 e 6,1); LV-Din, com três níveis de pH (5,1; 5,8 e 6,3); LV-Itu, com três níveis de pH (5,2; 5,6 e 6,7) e LE, também com três níveis de pH (5,1; 5,8 e 6,7), escolhidos dentre os onze solos utilizados no primeiro estudo. Considerando-se que os adubos uréia e sulfato de amônio, em condições de elevada acidez condicionam quantidades diferentes de nitrogênio nitrificado e que em valores de pH próximos da neutralidade estas diferenças tenderiam a desaparecer, adotou-se os seguintes critérios na seleção dos solos anteriormente citados: níveis de pH próximos dos valores 5,0, 5,5 e 6,5 e amplo espectro de capacidade tampão, refletido pela variação nos teores de argila e matéria orgânica presentes nestes materiais de solo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos distribuídos num arranjo fatorial  $5 \times 2$  (cinco solos e duas fontes de N), em três repetições.

No quadro 3 é apresentada a caracterização química dos cinco solos utilizados de forma que os três níveis de pH, dentro de cada solo, do menor para o maior valor de pH, correspondem, respectivamente, aos níveis de V% natural, 50% e 100%.

Após as etapas de peneiramento e secagem, coletou-se 10 cm<sup>3</sup> de cada material de solo, para os três níveis de pH, sendo esse volume de solo acondicionado em copos plásticos de 40 cm<sup>3</sup>. Adicionaram-se, em cada copo, 100 mg N/kg de solo, na forma de uréia ou de sulfato de amônio. Após a adição do nitrogênio, em copos adicionais, determinaram-se os teores iniciais de amônio e de nitrato, bem como o pH em água das amostras de solo. Novamente, procedeu-se à incubação dos materiais de solo por quinze dias, a 26 °C, através do uso de estufa incubadora com temperatura controlada. Ao término desse período, os teores de amônio remanescente e de nitrato formado foram quantificados, determinando-se também os valores de pH em água de cada material de solo. Durante o período de incubação, procurou-se manter 60% do valor total de poros de cada solo ocupados com água.

A quantidade de N nitrificado foi avaliada em função do nitrato produzido durante os quinze dias de incubação, calculado conforme fórmula mencionada anteriormente.

### 3.4. EXPERIMENTO III - Crescimento inicial do feijoeiro: efeito da acidez do solo e da adição de fontes de nitrogênio

Neste estudo buscou-se a avaliação da influência de adição de diferentes fontes de nitrogênio e da acidez do solo sobre o crescimento inicial do feijoeiro nos solos HGH, LR, LV-Itu e LE, cada solo com dois níveis de acidez. A escolha destes materiais de solo se deu pelo fato dos mesmos possuírem uma ampla variação nas características físicas e químicas, e um amplo espectro de capacidade tampão. Ainda, analisando os critérios de seleção dos solos acima, considerou-se o fato de que a absorção de amônio e nitrato pelas plantas acarreta mudanças nos valores de pH do solo, principalmente nas regiões adjacentes à superfície das raízes e que a extensão desta variação é condicionada pela capacidade tampão dos solos. Também, a proporção de amônio e nitrato presentes nos solos é condicionada pelos níveis de acidez presentes nos mesmos e pela adição de fontes de nitrogênio.

Cada material de solo foi seco ao ar, peneirado (2mm) e submetido à análise de fertilidade de rotina, ou seja, avaliou-se o pH em água, Ca, Mg, Al, H+Al, P, K e , indiretamente, m% e V%. A caracterização química dos solos, para os dois níveis de pH, dentro de cada solo, é apresentada no quadro 4.

QUADRO 4 - Caracterização química de amostras da camada superficial (0-20 cm) de quatro solos da região Sul de Minas Gerais, no início do cultivo do feijoeiro.

Solo	pH água	P	K	Ca	Mg	Al	m	V
		-mg/kg solo-		---	cmol (+) / dm <sup>3</sup> ---		----	%----
LR	4,6	36	98	1,4	0,6	0,8	26	17
	5,9	25	95	6,9	1,5	0,1	1	75
LE	5,2	21	65	1,6	0,4	0,2	6	31
	6,4	23	81	5,1	1,2	0,1	2	80
HGH	5,1	38	80	3,5	0,2	0,7	16	29
	5,6	68	114	8,6	1,5	0,1	1	71
LV-Itu	6,0	34	70	1,1	0,2	0,1	6	51
	6,6	39	52	1,4	0,2	0,1	5	62

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, num esquema fatorial completo de 4 (solos) X 2 (níveis de pH) X 4 (fontes de nitrogênio), com três repetições.

As fontes de nitrogênio utilizadas na forma de sais puro para análise foram a uréia, sulfato de amônio (SA) e o nitrato de amônio (NA), além do tratamento testemunha, no qual não se procedeu a adição de nitrogênio (S/N). Aplicaram-se os nutrientes P (100 mg/kg solo), na forma de fosfato, K (45 mg/kg solo), S (48 mg/kg solo), na forma de sulfato, e micronutrientes (50 mg FTE-BR12/ kg solo) em quantidades adequadas para o crescimento inicial do feijoeiro, cuja cultivar utilizada foi a Carioca-MG (Hábito indeterminado, tipo II).

Cada material de solo ( $420 \text{ cm}^3$ ), considerando-se os dois níveis de pH e as quatro fontes de N, foi acondicionado em copos plásticos com capacidade de  $450 \text{ cm}^3$ , procedendo-se o cultivo do feijoeiro nesses recipientes por um período de trinta e dois dias, procurando-se manter, durante esse período, 70% do volume total de poros de cada solo ocupados com água. A aplicação de nitrogênio, através do uso das fontes já citadas, foi realizada dezessete dias após o plantio, procurando-se com isso esgotar ao máximo o nitrogênio mineral residual, com a adição de  $150 \text{ mg N/kg}$  solo, parcelado em três vezes de  $50 \text{ mg/kg}$  solo, sendo cada aplicação espaçada de uma semana.

Avaliou-se, logo após a aplicação do nitrogênio, o incremento em crescimento foliar através da medição em comprimento do folíolo mediano da segunda folha trifoliada, aos dezessete dias de cultivo até o término do cultivo do feijoeiro, ocasião essa em que se procedeu o corte e coleta das plantas a fim de quantificar-se a matéria seca produzida. Após a secagem do material vegetal em estufa com circulação forçada ( $70^\circ \text{C}$ ), procedeu-se a quantificação da matéria seca (raiz e parte aérea), para todos os tratamentos.

Paralelo ao cultivo do feijoeiro, instalou-se também um experimento onde se procurou avaliar os teores de nitrato produzido com o uso de uréia, nitrato de amônio e sulfato de amônio, além do tratamento testemunha, onde não se adicionou nitrogênio. Dessa forma, através da montagem desse estudo,

concomitante ao cultivo do feijoeiro, pode-se avaliar o teor amônio remanescente e o teor de nitrato formado nos quatro materiais de solo utilizados no cultivo do feijoeiro para os dois níveis de acidez do solo testados. A metodologia utilizada na condução deste estudo foi a mesma já descrita para o experimento I, à exceção do local de condução que, nesse caso, foi na casa de vegetação, em condições próximas do cultivo do feijoeiro e do tempo de incubação, que coincidiu com o período de cultivo do feijoeiro.

### 3.5. Análises de material de solo e tecido vegetal

Com a finalidade de caracterizar-se quimicamente os materiais de solo utilizados nos três experimentos deste estudo, seguiram-se metodologias propostas pela EMBRAPA (1979), para determinação de pH em água (1:2,5); pH em cloreto de cálcio 0,01M; K e P (Uso do extrator Mehlich); Ca, Mg e Al (Extraídos pelo KCl 1N) e acidez potencial (H+Al). O carbono orgânico foi determinado por oxidação, através do uso do dicromato de potássio, segundo RAIJ & QUAGGIO (1983). Indiretamente, após a determinação do carbono, procedeu-se o cálculo da matéria orgânica presente em cada solo. Na determinação do nitrogênio total, seguiu-se metodologia proposta por BREMNER & MULVANEY (1982).

Nos três experimentos fez-se necessário também a determinação do amônio e do nitrato presentes no início, após a adição das fontes de nitrogênio, e ao término da incubação dos solos em estudo. Para tal, procedeu-se a extração deste N mineral através do uso do KCl 1N, em agitação por uma hora, executando-se a seguir a determinação do amônio e do nitrato via destilação por arraste de vapores, conforme metodologia proposta por KEENEY & NELSON (1982).

A análise granulométrica dos solos foi feita por dispersão das amostras, usando-se princípios químicos (NaOH 0,1N) e físicos (agitação com alta rotação); a separação da fração areia foi feita por tamisação e as demais partículas, silte e argila, foram determinadas pelo método da pipeta (CAMARGO et al., 1986).

Para quantificação de macro e micronutrientes presentes na parte aérea do feijoeiro, efetuou-se a secagem do material vegetal em estufa com circulação forçada (70 °C) e seguiu-se metodologia proposta por BATAGLIA et al. (1983).

### 3.6. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se modelo adequado ao delineamento experimental utilizado e à análise de regressão, através do uso dos programas estatísticos SAEG e SANEST, tendo como finalidade

básica a avaliação da influência dos tratamentos sobre o processo da nitrificação e sobre o crescimento inicial do feijoeiro.

Os dados relativos à produção de matéria seca do feijoeiro, além de serem submetidos à análise de variância, tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. EXPERIMENTO I - Efeito da correção da acidez do solo sobre a nitrificação

No quadro 1A observa-se que houve diferença altamente significativa para solos, níveis de V%, bem como para a interação de solos com níveis de V%, quando se considerou a produção de nitrato durante os quinze dias de incubação, nos onze materiais de solo estudados.

As quantidades produzidas de nitrato variaram de 0 a 197 mg/kg solo (Quadro 4A), sendo significativamente influenciadas pela correção da acidez do solo. As maiores quantidades de N nitrificado foram observadas nos solos com teores mais elevados de matéria orgânica, para valores de pH próximos da neutralidade. Nestes solos, a presença de níveis populacionais mais elevados de microrganismos nitrificadores, bem como a maior disponibilidade de amônio para estes organismos pode

ter acelerado a nitrificação, tendo em vista que os níveis de amônio presente no solo constituem fator primário a condicionar a atividade de nitrificadores (HAYNES, 1986a; YADVINDER-SINGH & BEAUCHAMP, 1986).

Nas figuras 1 e 2 observa-se a influência da correção da acidez do solo sobre a nitrificação. Nos solos Orgânico, LR e LV, verifica-se que houve um aumento progressivo nos teores de nitrato produzido com o aumento nos níveis de V%. Este mesmo comportamento foi verificado para os solos HGH, HGP e LU, para valores de V% até 60%. Para valores de V superiores a este valor, nestes solos, observou-se haver uma estabilização ou até mesmo diminuição nos teores de nitrato formado.

Na figura 2 verifica-se que os aumentos nas quantidades de nitrato produzido nos solos LE, LV-Din e C só ocorreram nos níveis de V superiores a 40%. Tal fato não ocorreu no solo TR, o qual apresentou aumento nas quantidades de N nitrificado, mesmo para valores de V% inferiores ao acima citado. Os resultados obtidos, à exceção do solo LV-Itu, estão de acordo aos apresentados por DANCER et al. (1973), SAHRAWAT (1982), GILMOUR (1984) e WEIER & GILLIAM (1986) e, mais especificamente, aos de NAFTEL (1931) e SANDANAM et al. (1978), os quais observaram uma influência da acidez do solo sobre a nitrificação, através do estudo do efeito de diferentes níveis de V% sobre este processo.

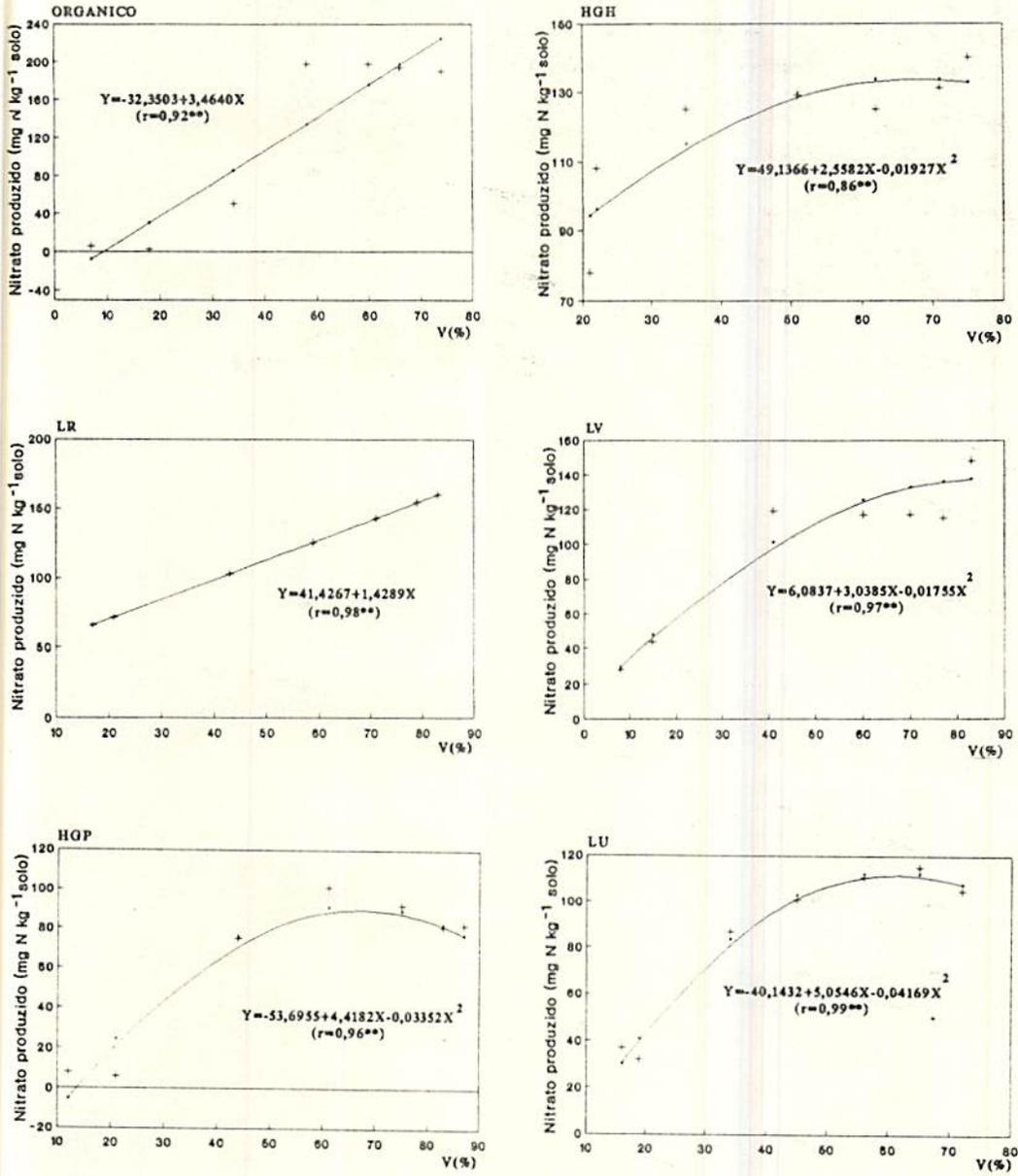


FIGURA 1 - Influência dos níveis de percentagem de saturação por bases sobre o nitrato produzido, após incubação dos solos Orgânico, LR, HGH, HGP, LU e LV incubados com sulfato de amônio por um período de quinze dias.

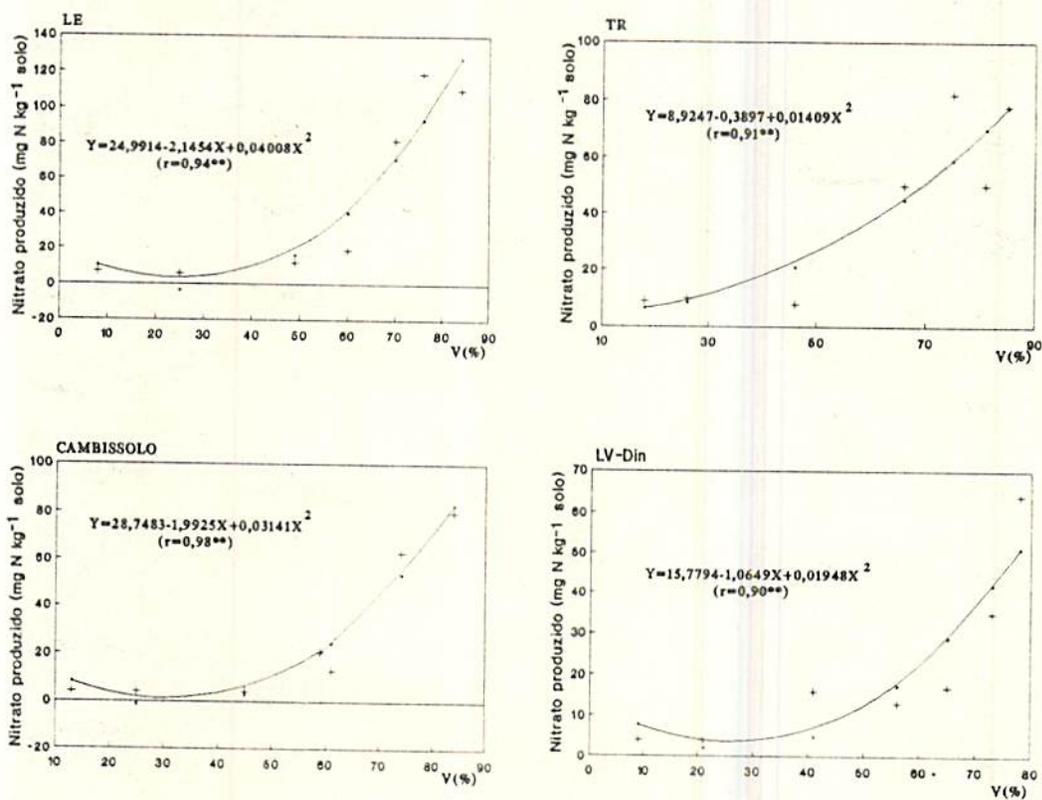


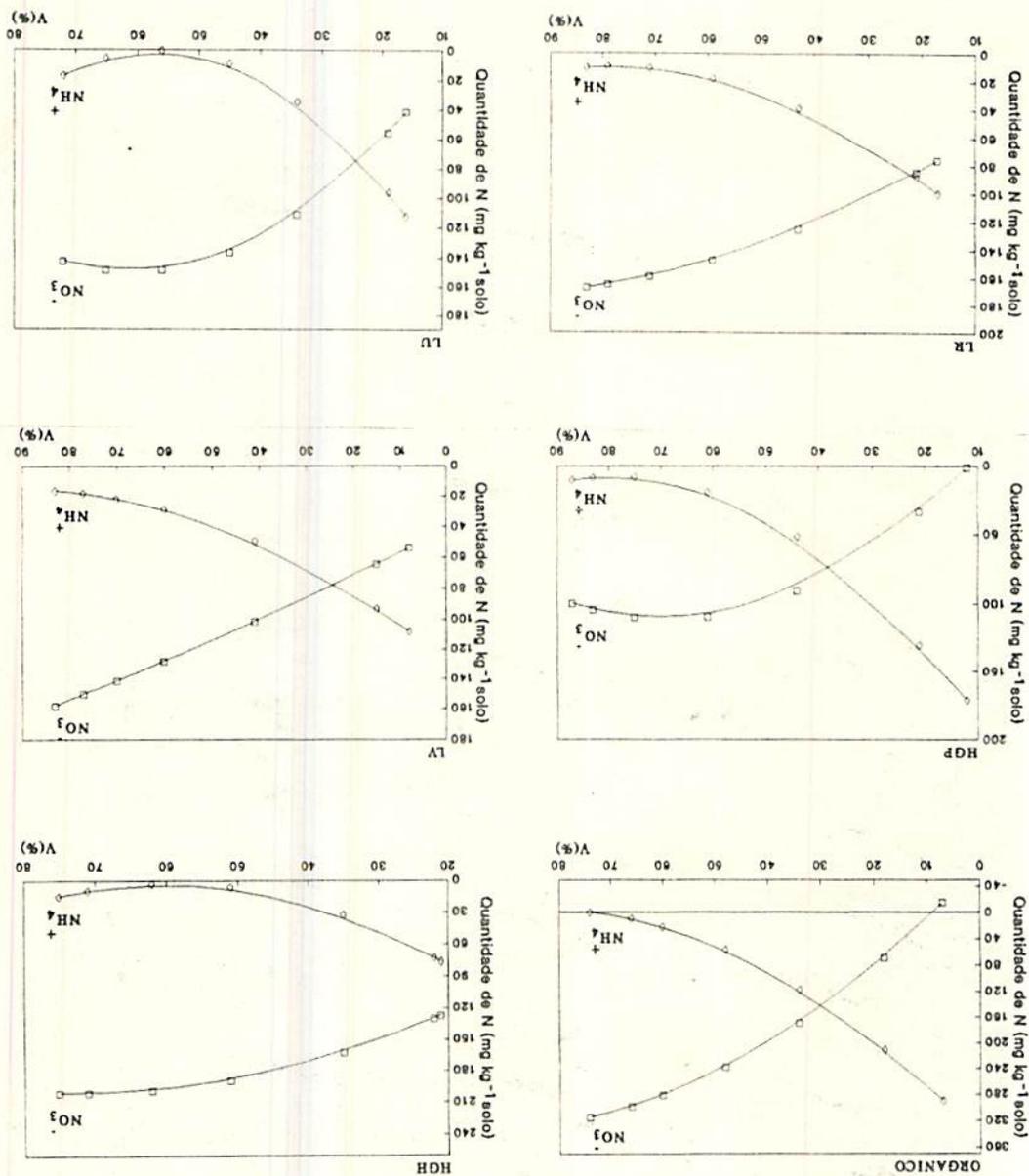
FIGURA 2 - Influência dos níveis de percentagem de saturação por bases sobre o nitrato produzido, após incubação com sulfato de amônio por um período de quinze dias dos solos LE, LV-Din, C e TR.

O solo LV-Itu, dentre os onze solos estudados, foi o que apresentou a mais baixa capacidade de nitrificação (Quadro 4A), devido, possivelmente, aos baixos teores de matéria orgânica e argila presentes no mesmo (Quadro 2), bem como pelos reduzidos teores de cálcio e magnésio retidos neste solo, para os sete níveis de pH testados (Quadro 3). Nestas condições, é muito comum a ocorrência de baixa atividade biológica, acarretando inibição da nitrificação (SANDANAM et al., 1978).

Nas figuras 3 e 4 são apresentados os teores de amônio e nitrato avaliados ao término dos quinze dias de incubação dos onze materiais de solo em estudo. Verifica-se que o aumento nos níveis de V% acarretou uma diminuição progressiva nos teores de amônio e, concomitantemente, um acréscimo nas quantidades de nitrato. Este comportamento foi observado para todos os solos, à exceção do solo LV-Itu, cujos decréscimos nos teores de amônio não foram acompanhados por aumento nas quantidades de nitrato.

Para os solos LU, LR, LV, Orgânico e HGP, a faixa de valor de V% na qual se observou um equilíbrio entre as formas de amônio e o nitrato, avaliadas ao término da incubação, situou-se entre 20 e 40%. No solo HGH, não se observou este equilíbrio, mesmo para valores de V% inferiores a 20 (Figura 3). Neste último solo e no LR, nos níveis mais baixos de V, próximos ao valor de 20%, foi verificado, inclusive, a produção de altos teores de nitrato.

FIGURA 3 - Influência dos níveis de saturação de saturação por bases sobre os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ , avaliados ao término da incubação com sulfato de amônio dos solos Orgânico, HGH, HGP, LV, LR e LU.



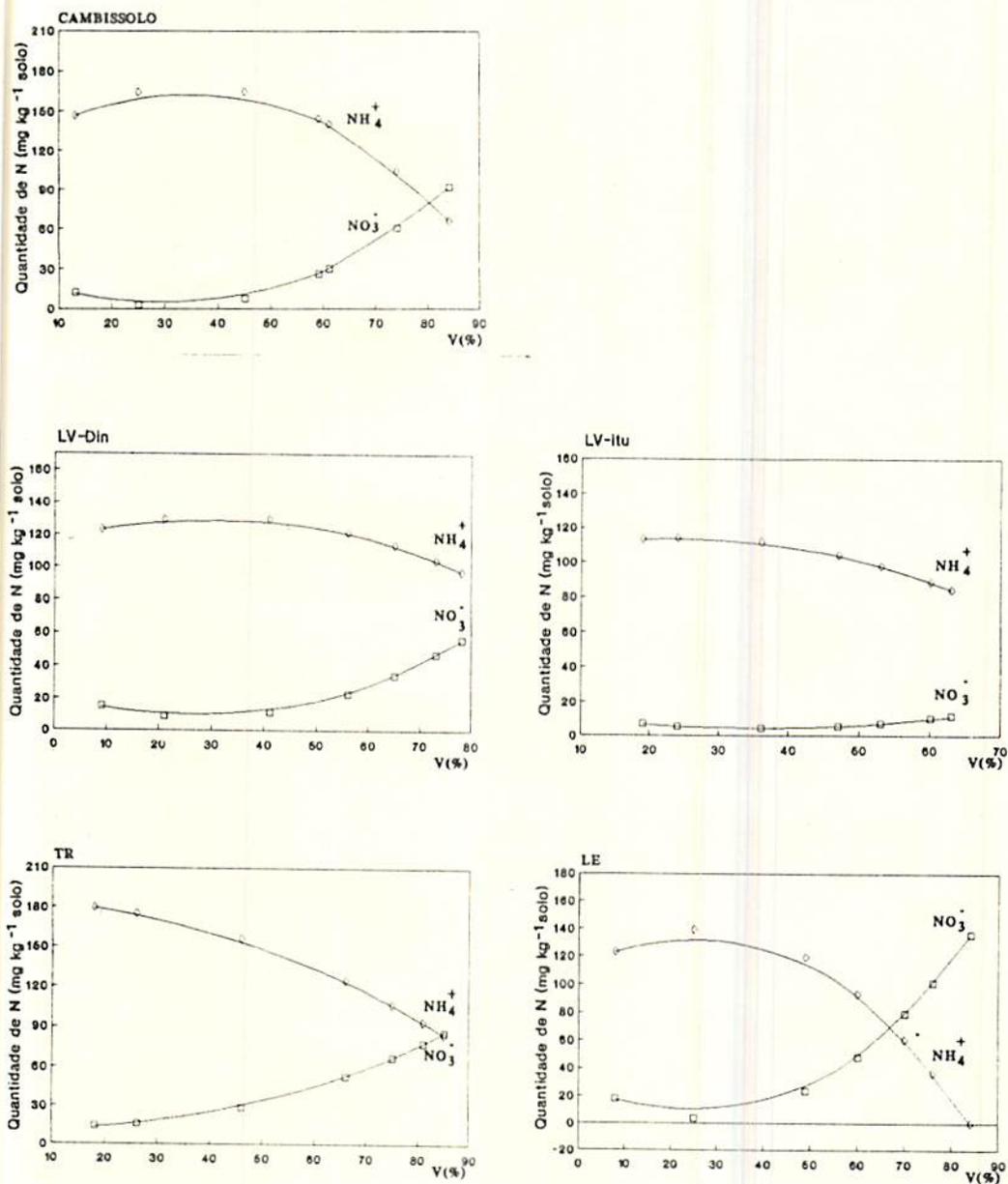


FIGURA 4 - Influência dos níveis de percentagem de saturação por bases sobre os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, avaliados ao término da incubação com sulfato de amônio dos solos LV-Itu, LV-Din, C, TR e LE.

Em função das altas quantidades de N nitrificado nestes dois solos, em condições de elevada acidez, não se descarta a possibilidade de intermediação da nitrificação por microrganismos heterotróficos, tendo em vista que em solos com altos teores de matéria orgânica e com valores de pH próximos de 4,5, como é o caso dos solos acima citados, é grande a possibilidade de produção de nitrato por esta via (ADAMS, 1986). A presença de bactérias nitrificadoras adaptadas a estas condições de acidez, assim como a ocorrência nestes solos de microrregiões com valores de pH superiores àqueles quantificado no solo como um todo, poderia também explicar os altos teores de nitrato observados nestes dois solos em condições de baixo pH (SCHMIDT, 1982).

Nos solos TR, LE e Cambissolo o equilíbrio entre as formas de amônio e nitrato só foi observado para valores de V superiores a 68%. Para os solos LV-Itu e LV-Din, mesmo em valores de V% superiores a 70%, não se observou o equilíbrio entre estas duas formas de N, ou seja, para os sete níveis de acidez testados os teores de amônio foram sempre superiores aos de nitrato.

As baixas quantidades de N nitrificado observadas no solo LV-Itu, solo cujo teor máximo de nitrato produzido foi de 5 mg/kg solo, causam preocupação na medida que a nutrição nitrogenada das plantas cultivadas neste solo se dará predominantemente com o nitrogênio na forma de amônio, se esta for a única forma adicionada, tendo em vista que quase todo o N

aplicado como amônio neste solo permaneceu nesta forma após os quinze dias de incubação (Quadro 4A).<sup>1</sup> Do ponto de vista de conservação do nitrogênio no solo, a presença do amônio seria interessante devido ao fato do amônio não ser facilmente perdido por lixiviação, tão pouco pelo processo de denitrificação (FOCHT & VERSTRAETE, 1977). Contudo, do ponto de vista nutricional das plantas, a prevalência da forma amoniacal no solo tende a ser indesejável, na medida em que a maioria da espécies vegetais preferem um suprimento balanceado de nitrogênio na forma de nitrato e de amônio (HAYNES, 1986b).

Os altos teores de nitrato observados nos solos O, HGH, LV e LR (Figura 3), principalmente nos níveis mais elevados de V%, causam preocupação, já que com a prática da calagem, visando elevar o pH de 6,0 a 6,5, quase todo o N presentes nestes solos estará na forma de nitrato, podendo-se assim ser antecipada a grande possibilidade de perda de nitrogênio nestes quatro solos, via lixiviação e/ou denitrificação do íon nitrato.

Analisando-se as figuras 3 e 4, verifica-se também que nos solos onde se observou o equilíbrio entre as formas de nitrato e amônio, este se deu para quantidades de N que variaram de 70 a 85 mg/kg solo, à exceção do solo Orgânico, cujo equilíbrio foi constatado em quantidade mais elevada de nitrogênio, em torno de 140 mg N/kg solo. Estas quantidades de nitrogênio não puderam ser estabelecidas para os solos HGH, LV-Din e LV-Itu, pois não se observou nestes solos, nos sete níveis de V% testados, equilíbrio entre a formas de amônio e nitrato.

Nos solos C e LV-Din, altos teores de nitrato só foram obtidos em níveis elevados de V% (Figura 4). Nestes solos, a presença de níveis adequados de cálcio, bem como, de baixos teores de alumínio trocável, em função da elevação do V para valores próximos a 50%, não propiciaram uma intensificação na quantidade de N nitrificado. Possivelmente, outros fatores, além dos já mencionados, tenham limitado o crescimento da população de organismos nitrificadores nesses dois solos. Uma possibilidade, é a levantada por RICE & PANCHOLY (1972), os quais relatam que os teores de nitrato observados em solos sob vegetação clímax predominantemente dominadas por gramíneas, como é o caso dos solos C e LV-Din, são extremamente baixos, dada a reduzida população de bactérias nitrificadoras presentes nestes ambientes. Isso está relacionado à excreção pelas raízes destas plantas de compostos com efeito inibitório sobre a nitrificação, conforme sugerido por HAYNES (1986a) e RICE & PANCHOLY (1972). Com a elevação nos níveis de pH do solo, há uma degradação destes compostos nocivos (MARCHNER & WILCZYNSKI, 1991 e MORITA, 1975), o que poderia propiciar condições ambientais mais favoráveis à proliferação e atividade dos organismos nitrificadores, resultando na produção de maiores teores de nitrato.

baixos teores de nitrato observados nos solos C e LV-Din, em condições de acidez já especificadas, poderia estar relacionada também à deficiência de outros nutrientes essenciais à atividade dos organismos nitrificadores, assim como, à presença

de relações C/N desfavoráveis à nitrificação, baseando-se nas proposições de GUNDERSEN & RASMUSSEN (1990).

No quadro 5 são apresentados os coeficientes de correlação entre os teores de nitrato formado nos quinze dias de incubação e alguns parâmetros da acidez do solo. Quando se inclui os dados de nitrato produzido de forma global, para todos os solos em estudo (Situação A), verificou-se que os teores de cálcio e os níveis de saturação por alumínio se caracterizaram como os melhores preditores na quantificação do N nitrificado. Entretanto, nesta situação (A), os teores de nitrato formado não se mostraram dependentes do pH do solo medido em água, mas mostraram-se condicionados pelo pH do solo medido em cloreto de cálcio 0,01M.

QUADRO 5 - Coeficiente de correlação entre alguns parâmetros da acidez do solo e o nitrato produzido em onze solos do Sul de Minas Gerais incubados com sulfato de amônio. A (Dados de 11 solos em estudo, com n=77); B (Dados de 10 solos em estudo, com n=70).

Parâmetros		Coeficiente de correlação (r)	
		A	B
V%	0,53 **	0,56 **	
pH água	0,00 NS	0,35 **	
pH CaCl <sub>2</sub>	0,47 **	0,54 **	
Ca	0,82 **	0,80 **	
Mg	0,68 **	0,64 **	
Al	0,00 NS	-0,45 **	
mg	-0,72 **	-0,69 **	

NS - Não significativo; \*\* Significativo a 1% de probabilidades;

Os baixos valores de coeficiente de correlação obtidos quando da relação do pH do solo com o nitrato formado, mostram no presente estudo, a reduzida influência deste fator sobre a nitrificação. Os dados obtidos concordam com aqueles apresentados por WEIER & GILLIAM (1986), os quais obtiveram baixos valores de coeficiente de correlação quando da análise da influência do pH do solo sobre a taxa de nitrificação. Entretanto, discordam dos resultados alcançados por MORRIL & DAWSON (1967) e DANCER et al. (1973), os quais observaram uma forte influência do pH do solo sobre o processo da nitrificação. Uma possível explicação para esses baixos coeficientes de correlação obtidos neste estudo seria o fato de que o processo de nitrificação não se mostra exclusivamente governado pelo pH do solo (SANDANAM et al., 1978) e que, em solos cujo faixa de pH se encontra entre os valores de 6,0 a 8,0, os níveis de nitrato produzido não se mostram influenciados pelo aumento no pH do solo (SAHRAWAT, 1982).

Analisando-se ainda a influência do pH do solo sobre a nitrificação, deve se observar também a metodologia através da qual esse índice de acidez foi determinado. De acordo com RAIJ (1991), apesar da determinação do pH em água ser uma das medidas mais comuns, essa fornece valores variáveis em diferentes épocas do ano ou, ainda, sujeitos ao manuseio das amostras. Para esse autor, uma das formas de contornar essas variações seria o uso de soluções salinas de baixa concentração, como o cloreto de cálcio 0,01M, as quais atuariam no sentido de nivelar o efeito de sais

normalmente existentes em solos não salinos durante a medição do pH. Dessa forma, o uso dessas soluções permitiria a obtenção de índices mais representativos da acidez do solo, o que parece ter ocorrido no presente estudo, face aos maiores coeficientes de correlação obtidos quando da relação do nitrato produzido com o pH determinado em cloreto de cálcio, em relação àqueles obtidos para o pH determinado em água.

Na situação B (Quadro 5) foram excluídos os teores de nitrato produzido nos sete níveis de acidez testados no solo LV-Itu, tendo em vista que a nitrificação neste solo não se mostrou influenciada pela correção da acidez do solo. Nesta situação (B), os teores de nitrato produzido nos dez materiais de solo remanescentes mostraram-se dependentes dos níveis de pH do solo medido em água, além de sofrer influência dos teores de alumínio trocável presentes nestes solos. Mais uma vez, os teores de nitrato produzido foram altamente dependentes dos níveis de cálcio presentes nos solos.

Observa-se também no quadro 5 que, quando se relacionou os teores de nitrato formado com os níveis de percentagem de saturação por alumínio, foram obtidos valores mais elevados de coeficiente de correlação, comparado àqueles obtidos para o parâmetro Al trocável, nas duas situações analisadas (A e B). Contudo, quando se analisou a influência do alumínio trocável sobre os teores de nitrato produzido nos sete níveis de acidez dos solos avaliados, para cada solo em separado, verificou-se uma

influência negativa, altamente significativa, do alumínio sobre as quantidades de N nitrificado nos solos Orgânico, LV, LR, HGP, HGH e LV-Din (Figura 5), obtendo-se coeficientes de correlação próximos do valor de 0,90. Esta redução nos teores de nitrato em função do aumento nos níveis de Al trocável ficou bem caracterizada nos solos Orgânico, LV e HGP. Quando os teores de alumínio trocável foram superiores a  $0,7 \text{ cmol}(+)/\text{dm}^3$  nestes três solos, praticamente não se observou produção de nitrato (Figura 5). A eliminação do alumínio e/ou acréscimos nos teores de cálcio presentes nestes solos proporcionaram aumentos substanciais nos teores de nitrato, sendo este fato bem característico no solo Orgânico, o qual apresentou, dentre os solos estudados, os maiores teores de alumínio trocável (Quadro 3). De forma similar aos dados aqui apresentados, no trabalho de BRAR & GIDDENS (1968) foi observado uma inibição da nitrificação pelo alumínio. Esses autores verificaram que altos teores de Al trocável presentes em solos ácidos, condicionam a incidência de uma baixa população de organismos nitrificadores e, desta forma, uma baixa produção de nitrato.

Os maiores coeficientes de correlação obtidos em função da relação dos níveis de percentagem de saturação por alumínio com os teores de nitrato formado, comparados àqueles obtidos para o alumínio trocável (Quadro 6; situações A e B), podem estar relacionados ao fato da percentagem de saturação por alumínio se constituir num parâmetro mais abrangente, pois considera os teores de Al trocável em relação a CTC de cada solo ou

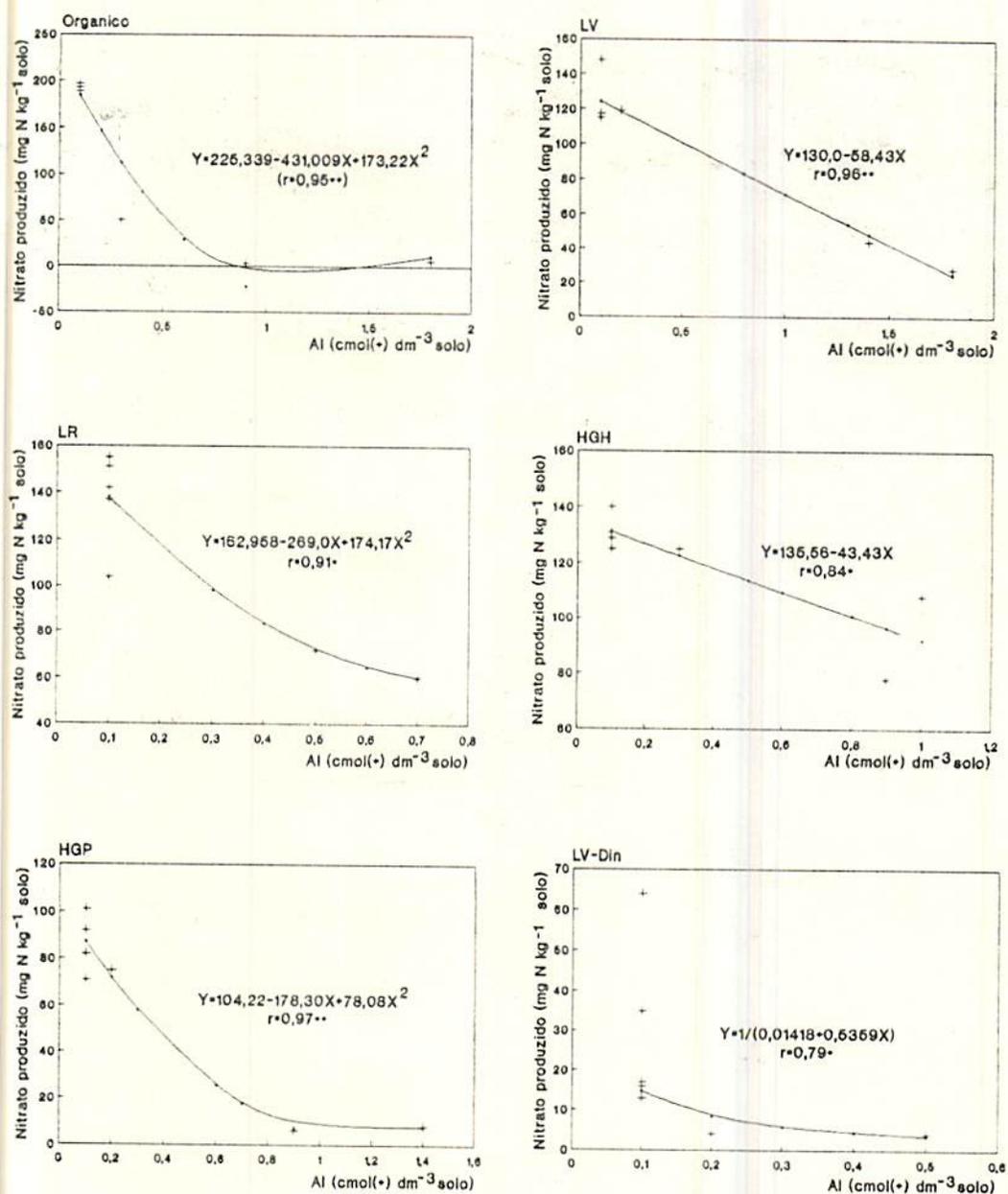


FIGURA 5 - Influência dos teores de alumínio trocável sobre o nitrato produzido, durante os quinze dias de incubação com sulfato de amônio, nos solos LV, LR, HGH, HGP, LV-Din e Orgânico.

tratamento, evidenciando de forma mais efetiva a atividade do alumínio no solo causador de toxidez aos organismos nitrificadores, sendo estas considerações feitas quando da análise da influência do alumínio sobre os teores de nitrato formado em todos os solos, ou em alguns deles, quando se excluiu os dados do solo LV-Itu.

Os altos coeficientes de correlação observados entre os teores de cálcio e o nitrato produzido, em função da inclusão dos dados de diferentes solos (Situações A e B), evidenciam a forte influência deste nutriente sobre a nitrificação em solos com uma ampla variação nas características químicas e físicas, como os onze materiais de solo aqui estudados, concordando com os dados apresentados por NAFTEL (1931) e MORRIL & DAWSON (1967).

Com base nos dados do presente estudo, conclui-se que a nitrificação nos materiais de solo em estudo, à exceção do solo LV-Itu, se mostrou influenciada pela correção da acidez do solo, de forma que o aumento nas quantidades de corretivo adicionado acarretaram elevações progressivas nas quantidades de nitrato formado. As diferenças nos teores de nitrato formados nos solos estudados, para níveis similares de pH, não se deveu exclusivamente aos parâmetros componentes da acidez do solo, tais como teor de cálcio, Al trocável e pH do solo, mas também aos teores iniciais de substrato (amônio) para os organismos nitrificadores, teores estes condicionados pelos níveis de matéria orgânica presentes nos onze materiais de solos estudados.

Os dados do presente estudo permitem concluir ainda que a intensidade de nitrificação pode ser considerada como um índice de fertilidade do solo, dado que os maiores teores de nitrato foram observados nos solos que apresentaram teores mais elevados de matéria orgânica, maiores reservas de Ca e Mg trocável, menores teores de alumínio trocável e faixa de pH do solo ideal para cultivo da maioria das plantas.

#### 4.2. EXPERIMENTO II - Efeito da adição de nitrogênio na forma de uréia ou sulfato de amônio sobre a nitrificação

Observa-se no quadro 2A que houve diferença altamente significativa entre os solos para as fontes de nitrogênio e para os valores de pH do solo estudados, para as interações entre solo e fonte de nitrogênio, solo e pH, fontes de nitrogênio e pH do solo, bem como para a interação tripla entre solo, fontes de nitrogênio e pH do solo, isso tudo quando se avaliou os teores de nitrato produzido durante os quinze dias de incubação. Considerou-se para discussão a interação entre fontes de nitrogênio e o pH do solo, na medida em que já havia se discutido, no primeiro estudo, o efeito da correção da acidez sobre a nitrificação nos cinco solos aqui utilizados.

Nas figuras 6 e 7 são apresentados os teores de nitrato produzido nos cinco solos utilizados no estudo, durante os quinze

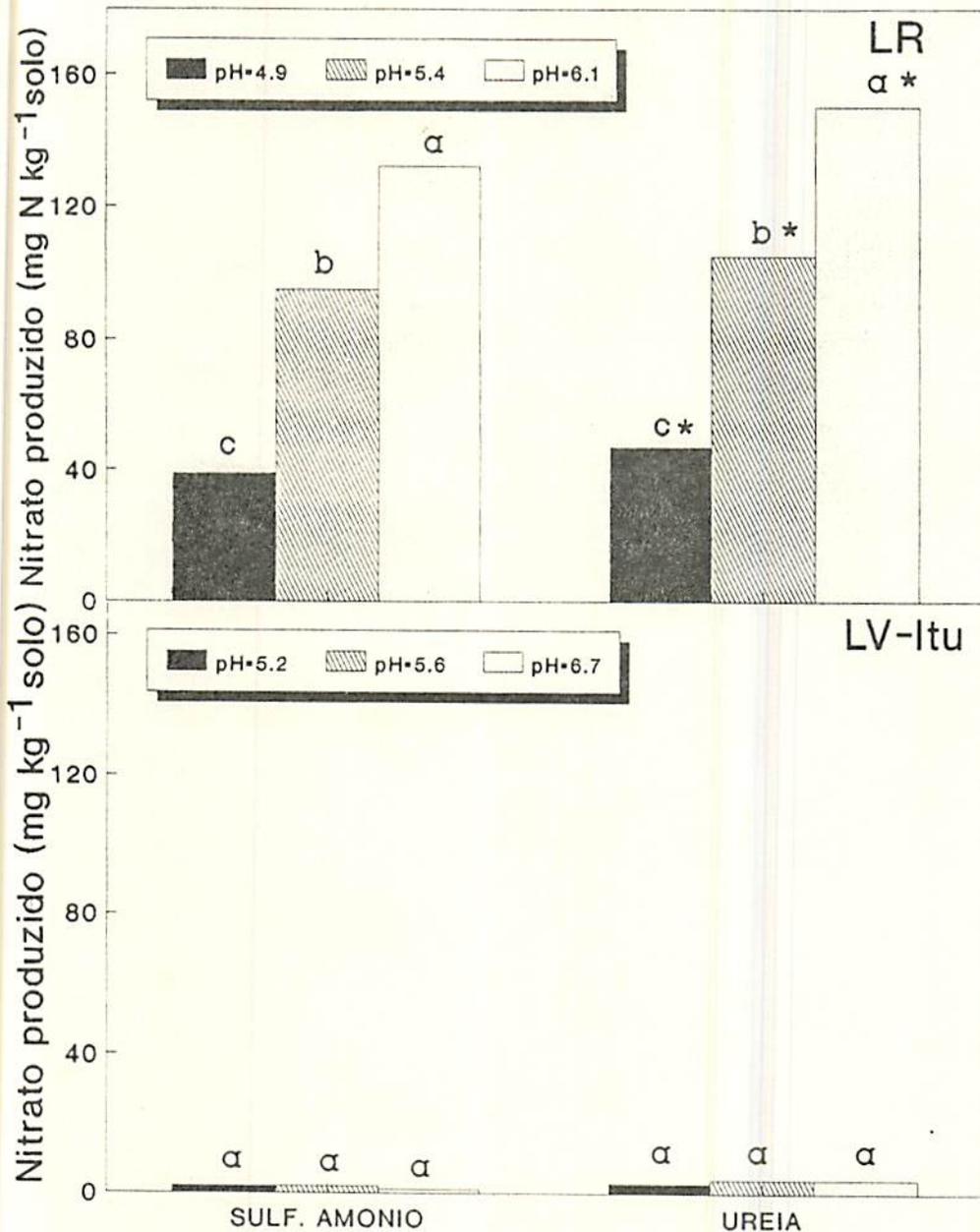


FIGURA 6 - Efeito da acidez do solo e da adição de nitrogênio na forma de uréia ou de sulfato de amônio na produção de nitrato dos solos LR e LV-Itu. (Letras distintas indicam diferença significativa,  $p(0,05$ , entre níveis de pH do solo, dentro de cada fonte de nitrogênio; a presença de asterisco indica diferença significativa entre fontes de nitrogênio, dentro de cada nível de pH do solo).

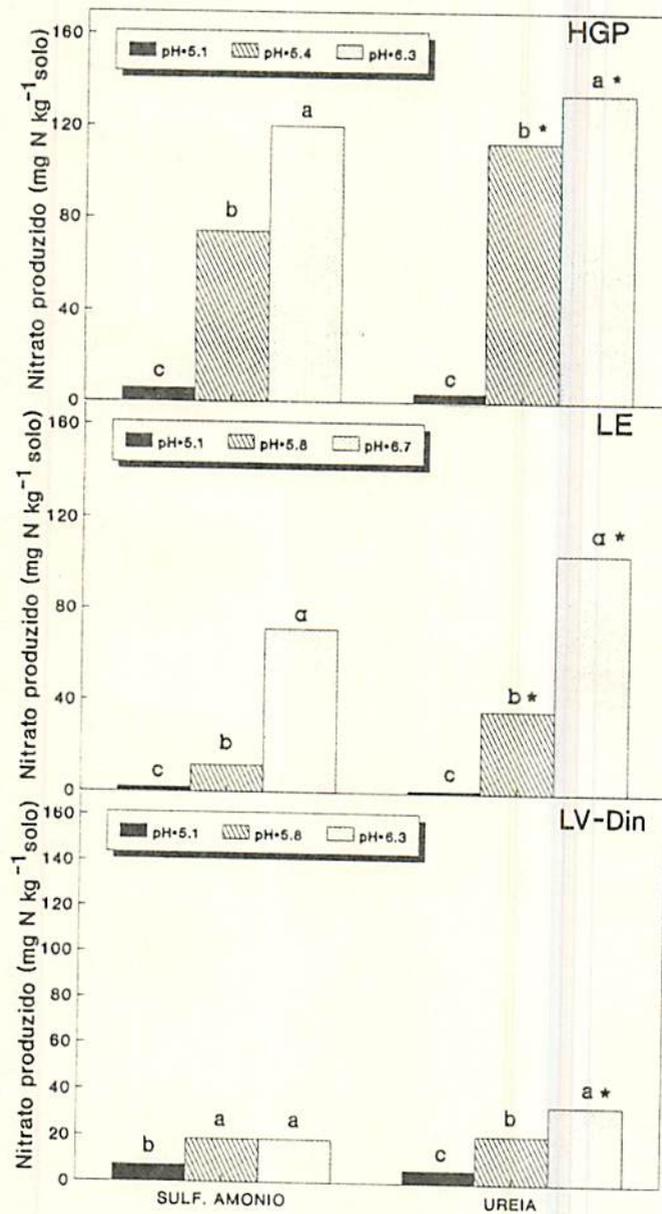


FIGURA 7 - Efeito da acidez do solo e da adição de nitrogênio na forma de uréia ou de sulfato de amônio sobre a produção de nitrato nos solos HGP, LE e LV-Din. (Letras distintas indicam diferença significativa,  $p(0,05$ , entre níveis de pH do solo, dentro de cada fonte de nitrogênio; a presença de asterisco indica diferença significativa entre fontes de nitrogênio, dentro de cada nível de pH do solo).

dias de incubação, considerando os três níveis de acidez dentro de cada solo e a adição de nitrogênio na forma de uréia ou de sulfato de amônio.

No solos LR, LE , LV-Din e HGP, a correção da acidez do solo acarretou um aumento significativo nas quantidades de N nitrificado, independentemente da fonte de nitrogênio adicionada. No solo LV-Itu, conforme já havia sido verificado no experimento I, os teores de nitrato produzido não se mostraram dependentes dos níveis de acidez do solo, tanto com o uso do sulfato de amônio quanto da uréia.

No solo LR, os teores de nitrato produzido foram significativamente maiores para o N oriundo da uréia, em relação aquele suprido pelo sulfato de amônio (Figura 6), para os três níveis de acidez do solo. Dentre os cinco solos estudados, o LR se caracterizou por ser o único a apresentar, inclusive no valor mais baixo de pH do solo, uma maior quantidade de N nitrificado quando da adição da uréia. Possivelmente, a maior intensidade da nitrificação nesse solo obtida com a adição do N na forma de uréia, em condições de elevada acidez, esteja relacionada a maior capacidade do solo LR em hidrolisar essa fonte nitrogenada, tendo em vista que o mesmo se encontra sob vegetação de floresta (Quadro 1) e que esse solo, quando do estudo de SANTOS et al. (1991), apresentou uma elevada intensidade na atividade da urease. As condições específicas de ambiente verificadas em sistemas sob vegetação de mata atuam no sentido de propiciar uma

maior proteção à urease ao longo do tempo (ZANTUA & BREMNER, 1975), de forma a acarretar uma maior intensidade no processo de hidrólise da uréia.

Em contraste aos resultados observados no solo LR, foi verificado no solo LV-Itu, mesmo com a adição de nitrogênio na forma de uréia, baixos teores de nitrato. Neste solo, a quantidade máxima de nitrato produzido se situou em torno de 5 mg/kg solo. No estudo de SANTOS et al. (1991), o solo LV-Itu foi o que apresentou a menor capacidade de hidrólise da uréia, após incubação por 5 horas. Contudo, no presente estudo, não foi observado um impedimento sobre o curso deste processo no solo LV-Itu, na medida em que, no geral, quase todo o nitrogênio adicionado na forma de uréia foi observado ao final dos quinze dias de incubação na forma de amônio (Quadro 6). As baixas quantidades de N nitrificado, oriundo da uréia ou do sulfato de amônio no LV-Itu, possivelmente, se deveu ao baixo teor de matéria orgânica e aos níveis reduzidos de nutrientes presentes no mesmo. Nessas condições, de acordo com SANDANAM et al. (1978), é muito comum a ocorrência de reduzida população de nitrificadores. Além disso, solos com baixo conteúdo de argila, como é o caso do solo LV-Itu (Quadro 2), apresentam baixa intensidade do processo de conversão do amônio a nitrato (YADVINDER-SINGH & BEAUCHAMP, 1986).

QUADRO 6 - Teores iniciais e finais de amônio e de nitrato, valores de pH (água) no início e no final do período de incubação e variação de pH em função da incubação de cinco solos do Sul de Minas Gerais.

Solo	Fonte N	Nível V%	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		pH		variação de pH*
			Inic.	Final	Inic.	Final	Final	Inic.	
-----mg/Kg solo-----									
HGP	URÉIA	Nat.	23	158	7	11	6,0	5,1	+0,9
		50	20	34	20	133	4,6	5,4	-0,8
		100	17	9	22	156	5,6	6,3	-0,7
	SA	Nat.	123	167	7	13	4,8	5,1	-0,3
		50	120	75	20	94	4,6	5,4	-0,8
		100	111	9	23	143	5,4	6,3	-0,7
LV-Din	URÉIA	Nat.	17	117	7	13	5,8	5,1	+0,7
		50	18	118	7	29	6,0	5,8	+0,2
		100	27	107	7	41	6,5	6,3	+0,2
	SA	Nat.	110	115	7	14	5,0	5,1	-0,1
		50	115	115	7	26	5,0	5,8	-0,8
		100	117	125	7	26	6,2	6,3	-0,1
LV-Itu	URÉIA	Nat.	10	105	7	10	7,4	5,2	+2,2
		50	10	101	7	11	8,0	5,6	+2,4
		100	10	80	7	11	8,0	6,7	+1,3
	SA	Nat.	110	106	7	9	5,9	5,2	+0,7
		50	108	110	7	9	6,5	5,6	+0,9
		100	108	97	7	8	7,1	6,7	+0,4
LR	URÉIA	Nat.	17	113	22	68	5,0	4,9	+0,1
		50	17	43	17	122	4,7	5,4	-0,7
		100	23	9	17	167	5,4	6,1	-0,7
	SA	Nat.	107	130	20	59	4,7	4,9	-0,2
		50	107	65	14	109	4,6	5,4	-0,8
		100	108	17	16	148	5,2	6,1	-0,9
LE	URÉIA	Nat.	18	135	7	8	6,4	5,1	+1,3
		50	17	106	7	43	6,1	5,8	+0,3
		100	20	30	10	115	6,1	6,7	-0,6
	SA	Nat.	113	136	7	9	5,3	5,1	+0,2
		50	110	128	7	19	5,8	5,8	0,0
		100	113	71	7	78	6,1	6,7	-0,6

\* Variação de pH = pH final menos pH inicial.

Para os outros solos (LE, LV-Din e HGP), só foi verificado nitrificação mais rápida da uréia nos valores de pH próximos da neutralidade (Figura 7). Os dados obtidos para esses solos não estão de acordo com as observações de SANDANAM et al. (1978), tendo em vista que no estudo desses autores só foi verificado uma maior nitrificação do N oriundo da uréia, em relação ao N adicionado pelo sulfato de amônio, em condições de elevada acidez.

Provavelmente, as maiores produções de nitrato obtidas em níveis semelhantes de acidez do solo em função do uso nitrogênio na forma de uréia, quando comparada com aquelas obtidas com o sulfato de amônio, sejam devidas à elevação localizada do pH do solo, resultante da hidrólise da uréia no solo, conforme relatado por WICKRAMASINGHE et al. (1985) e SANDANAM et al. (1978). De acordo com esses autores, o aumento de pH é temporário, mas suficiente para favorecer a nitrificação. Segundo MARTIKAINEM (1984), o estímulo de compostos nitrogenados contendo carbono, como o é a uréia, sobre a intensidade da nitrificação estaria relacionado ao aumento na disponibilidade de amônio, assim como sobre a diminuição da acidez do solo. Para esse autor, mudanças nos valores de pH do solo assumem importância, principalmente em condições ambientais limítrofes à atividade dos organismos nitrificadores. Um outro fato a ser considerado é aquele relacionado com uma maior disponibilidade de fósforo e potássio, em função do aumento do pH do solo com a

adição da uréia (AARNIO et al., 1992), o que acarreta uma maior disponibilidade de amônio, dado a maior mineralização da matéria orgânica (MARTIKAINEM, 1984), tendo em vista que esse processo se mostra dependente dos níveis de acidez presentes nos solos (NYBORG et al., 1988). A presença de elevados teores de amônio no solo assume importância, já que os níveis populacionais dos organismos nitrificadores autotróficos são condicionados pela disponibilidade desse substrato nos solos (HAYNES, 1986a).

Nas figuras 6 e 7, observa-se também somente ocorrer uma nitrificação mais rápida da uréia em condições de elevada acidez, no solo LR. O comportamento similar dos adubos uréia e sulfato de amônio em condições de baixo pH, nos solos HGP, LE e LV-Din, pode estar relacionado ao fato da elevação de pH provocada pela hidrólise da uréia, nessas condições, não ter sido suficiente para resultar em uma maior disponibilidade de amônio oriundo da mineralização, dado os baixos teores de matéria orgânica presentes nesses solos (Quadro 2). Também, esses acréscimos de pH podem não ter sido suficientemente elevados, a ponto de estimularem uma maior atividade dos organismos nitrificadores. Esses resultados não concordam com aqueles apresentados por MARTIKAINEM (1984) e AARNIO et al. (1992), os quais observaram que a adição da uréia em solos ácidos resultou numa maior intensidade do processo de nitrificação.

O processo de hidrólise da uréia, quando se considera os solos LE, HGP e LV-Din, parece não ter sido o fator limitante

à nitrificação, tendo em vista que o nitrogênio adicionado nesses solos na forma de uréia, foi observado no final do período de incubação na forma de amônio (Quadro 6).

No quadro 6 são apresentados também as variações de pH do solo resultantes da aplicação dos vários tratamentos e calculada em função dos valores de pH medidos no início e no final do período de incubação. No solo LV-Itu, independentemente da fonte de nitrogênio utilizada, houve uma elevação nos valores de pH do solo, ao término da incubação, refletidos pelos valores positivos de variação de pH. Nesse solo, para os três níveis de pH testados, os maiores aumentos de pH foram verificados com a adição da uréia. Com a hidrólise dessa forma nitrogenada neste solo com baixo poder tampão (Quadro 2), aliado à baixa intensidade de nitrificação observadas no mesmo, fica explicado os maiores acréscimos de pH detectados no LV-Itu. De modo geral, houve uma tendência da uréia em acarretar elevação nos valores de pH do solo. Quando se verificou quedas nos valores desse índice, essas foram iguais ou de menor intensidade nos tratamentos em que se adicionou uréia, do que naqueles em que se utilizaram o sulfato de amônio.

Baseando-se nos dados do presente estudo, observou-se que houve um comportamento diferenciado entre as duas fontes de nitrogênio sobre a nitrificação, na medida em que o nitrogênio adicionado via utilização de uréia nitrificou mais rapidamente, para níveis similares de pH do solo, do que aquele oriundo do

sulfato de amônio. Este comportamento só não foi observado no solo LV-Itu, cujos teores de nitrato produzido não se mostraram influenciados pela acidez do solo, tão pouco pelas fontes de nitrogênio utilizadas. No nível mais elevado de acidez, o solo LR, dentre os cinco solos estudados, foi o único a apresentar uma maior intensidade nas quantidades de N nitrificado oriundo da uréia, em relação aquele proveniente do sulfato de amônio.

#### 4.3. EXPERIMENTO III - Crescimento inicial do feijoeiro: efeito da acidez do solo e da adição de fontes de nitrogênio.

Observa-se no quadro 3A que houve diferença altamente significativa entre os solos estudados, entre as fontes de nitrogênio, entre os níveis de pH de cultivo, bem como para as interações entre solos e fontes de nitrogênio, solos e níveis de pH de cultivo, fontes de nitrogênio e níveis de pH de cultivo e para a interação tripla entre solos, fontes de nitrogênio e níveis de pH de cultivo, isso tudo, quando se avaliou as produções de matéria seca total e da parte aérea do feijoeiro.

No quadro 7 são apresentadas as produções de matéria seca total (parte aérea + raiz), da parte aérea e da raiz do feijoeiro. As diferenças estatísticas observadas, nos vários tratamentos estudados, para a produção de matéria seca da parte aérea, foram as mesmas observadas para a produção de matéria seca

total. Desta forma, para efeito de discussão no presente estudo, será considerado o parâmetro matéria seca total produzida pelo feijoeiro nos vários tratamentos.

As maiores produções de matéria seca, no geral, independentemente da fonte de nitrogênio e do nível de pH de cultivo, foram obtidas no solo LR. No solo LV-Itu, que se caracterizou pela baixa fertilidade e pelo baixo teor de matéria orgânica, no nível mais elevado de pH de cultivo, foram observadas as menores produções de matéria seca (Quadro 7).

No caso do solo com maior teor de matéria orgânica, o HGH, não se observou resposta à aplicação de nitrogênio, tão pouco diferença de produção de matéria seca condicionada pelas três fontes de nitrogênio utilizadas. Mesmo sob elevada acidez, não foram observadas diferenças nas produções de matéria seca total, da parte aérea e da raiz para o feijoeiro neste solo (Quadro 7).

Observando os dados apresentados no quadro 8, os quais se referem ao balanço geral do nitrogênio mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) no início e no final do cultivo do feijoeiro, obtidos através da incubação dos quatro solos em estudo paralelo de nitrificação, verifica-se que, possivelmente, durante o cultivo do feijoeiro, houve uma predominância do nitrogênio na forma de nitrato no solo HGH, nos dois níveis de pH de cultivo, principalmente em pH mais elevado, e que, nesta situação, observa-se uma elevação nos valores de pH ao término do cultivo do feijoeiro, refletido pelos

QUADRO 7 - Produção de matéria seca do feijoeiro, cultivado por 32 dias em quatro solos do Sul de Minas Gerais, em função da aplicação de 150 mg N kg<sup>-1</sup> solo, através do uso de diferentes fontes de nitrogênio.

Solo	pH de cultivo	Fonte de N	Matéria Seca		
			Total	Parte aérea	Raiz
-----g/vaso-----					
HGH	4,6	S/N	2,95aA*	1,90aA	1,05aA
		SA	2,57aA	1,66aA	0,91aA
		NA	3,13aA	2,02aA	1,11aA
		URÉIA	2,93aA	1,89aA	1,04aA
	5,9	S/N	3,24aA	2,20aA	1,04aA
		SA	2,97aA	1,84aA	1,13aA
		NA	2,99aA	1,93aA	1,06aA
		URÉIA	3,02aA	1,93aA	1,09aA
LR	5,2	S/N	2,62bB	1,66bB	0,96aB
		SA	2,63bB	1,75bB	0,88aB
		NA	3,27aB	2,18aB	1,09aB
		URÉIA	3,73aB	2,53aB	1,20aB
	6,4	S/N	4,08bA	2,83bA	1,25bA
		SA	4,78aA	3,18aA	1,60aA
		NA	4,75aA	3,32aA	1,43abA
		URÉIA	4,92aA	3,38aA	1,54abA
LE	5,1	S/N	2,52bB	1,44bB	1,08aA
		SA	3,26aB	2,07aB	1,19aA
		NA	3,50aA	2,19aA	1,31aA
		URÉIA	3,11abB	1,95abB	1,16aA
	5,6	S/N	4,11aA	2,87aA	1,24aA
		SA	4,39aA	2,97aA	1,42aA
		NA	3,53bA	2,19bA	1,34aA
		URÉIA	3,94abA	2,58abA	1,36aA
LV-Itu	6,0	S/N	2,22bA	1,60bA	0,62bA
		SA	1,98bA	1,42bA	0,56bA
		NA	3,46aA	2,45aA	1,01aA
		URÉIA	3,13aA	2,32aA	0,81abA
	6,6	S/N	1,88aA	1,39aA	0,49aA
		SA	2,18aA	1,64aA	0,54aA
		NA	2,20aB	1,51aB	0,69aB
		URÉIA	2,32aB	1,66aB	0,66aA

\* Letras minúsculas comparam fontes de N dentro de cada nível de pH de cultivo, no solo; letras maiúsculas comparam níveis de pH de cultivo dentro de cada fonte de N, no solo.

valores positivos da variação de pH verificada nos tratamentos S/N, NA e Uréia (Quadro 8). Neste solo, só houve uma diminuição nos valores de pH ao término do cultivo do feijoeiro, nos tratamentos onde se procedeu a aplicação do nitrogênio na forma de sulfato de amônio (Quadro 8). No solo HGH, mesmo no tratamento onde não se procedeu a aplicação de nitrogênio (S/N), a produção de nitrogênio via mineralização da matéria orgânica, foi suficiente para atender a demanda do feijoeiro por este nutriente durante o seu crescimento inicial.

No quadro 7 pode ser observado também que, no solo LR, a produção de matéria seca total do feijoeiro foi favorecida pelo uso da uréia ou de nitrato de amônio, em cultivo sob elevada acidez do solo. Nesta condição, a produção obtida com o sulfato de amônio não diferiu daquela em que não se procedeu a aplicação de nitrogênio. Com a correção da acidez do solo e, conseqüentemente, com uma maior predominância do nitrato no meio de cultivo (Quadro 8), não se observou diferenças entre as fontes de nitrogênio em termos de produção de matéria seca total. Possivelmente, a menor produção de matéria seca obtida com o uso do sulfato de amônio, em condições de elevada acidez do solo, esteja relacionada com a forte predominância do amônio no meio de cultivo (Quadro 8), na medida em que o feijoeiro tende a preferir um suprimento balanceado de nitrato e de amônio durante o seu cultivo (GUAZELLI, 1988; McELHANNON & MILLS, 1978). No estudo de GUAZELLI (1988) foi notado que o aumento na proporção de amônio na solução, até esta forma perfazer 50% do nitrogênio suprido,

QUADRO 8 - Balanço geral do nitrogênio mineral no solo, através da incubação, em experimento paralelo de nitrificação, concomitante ao cultivo do feijoeiro, de amostras de quatro solos do Sul de Minas Gerais e variação de pH em função do cultivo do feijoeiro.

Solo	pH de cultivo	Fonte de N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		N final (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) **3	Variação de pH*	
			Inicial	Final	Inicial	Final			
HGH	4,6	S/N	0	10	18	90	90	0,0	
		SA	17	107	20	152	59	-0,2	
		NA	20	47	33	235	83	+0,2	
		URÉIA	17	65	30	202	76	+0,1	
		-----mg N/Kg solo-----							
	5,9	S/N	17	10	65	137	93	+0,3	
		SA	22	48	93	279	85	-0,2	
		NA	17	17	120	338	95	+0,3	
		URÉIA	17	30	120	321	92	+0,3	
		LR	5,2	S/N	10	37	4	67	64
	SA			10	227	4	35	13	-0,2
	NA			10	111	4	142	56	+0,2
	URÉIA			10	186	4	80	30	-0,1
	6,4		S/N	24	19	10	120	86	-0,1
SA			12	67	10	212	76	-0,6	
NA			12	13	10	267	95	-0,4	
URÉIA			10	23	10	253	92	-0,2	
LE			5,1	S/N	10	5	4	56	92
	SA	10		140	4	97	41	-0,5	
	NA	10		55	4	172	76	-0,2	
	URÉIA	10		107	4	124	54	-0,1	
	5,6	S/N		10	5	17	67	93	+0,1
		SA	10	33	50	216	87	-0,4	
		NA	10	15	75	278	95	+0,1	
		URÉIA	10	10	65	275	96	-0,1	
		LV-Itu	6,0	S/N	10	6	7	15	72
	SA			10	171	6	16	9	-1,0
NA	10			96	10	104	52	-0,8	
URÉIA	10			143	7	51	26	-0,7	
6,6	S/N			7	4	7	7	64	-0,3
	SA		10	148	7	25	14	-1,3	
	NA		10	84	7	102	55	-0,5	
	URÉIA		10	82	7	72	47	-0,6	

\* Variação de pH = pH ao término do cultivo do feijoeiro menos pH no início do cultivo do feijoeiro;

\*\* Percentagem do N mineral final (amônio + nitrato) na forma de nitrato.

resultou em apreciável aumento da matéria seca da parte aérea, para todas cultivares de feijoeiro utilizadas.

Possivelmente, durante o cultivo do feijoeiro no solo LR, no nível mais baixo de pH de cultivo, o amônio tenha constituído mais de 50% do nitrogênio no solo, como ficou evidenciado no experimento paralelo de nitrificação, e isso fica mais caracterizado ainda pela queda de pH observada no final do cultivo do feijoeiro (Quadro 8), que foi mais intensa no tratamento em que se adicionou o N na forma de sulfato de amônio. Provavelmente, essa maior acidificação esteja sendo originada pela absorção do íon amônio, já que há um efluxo de  $H^+$  com a absorção deste cátion (HAYNES, 1986b), ou, até mesmo, à conversão do amônio a nitrato, processo sabidamente acidificante (HAYNES, 1986a).

As principais limitações à produção das culturas, supridas predominantemente com o íon amônio, tem sido atribuídas aos efeitos combinados de acidificação da rizosfera destas plantas, bem como ao acúmulo tóxico de amônio nos tecidos das plantas (KIRKBY & MENGEL, 1967). Solos com maior poder tampão para íons hidrogeniônicos amenizam sobremaneira estes efeitos (HAGEMAN, 1984), o que possivelmente pode ter ocorrido no solo HGH, principalmente nos tratamentos onde o N foi suprido via utilização de sulfato de amônio.

Contrário aos resultados obtidos para produção de matéria seca total do feijoeiro, não se observou influência das

fontes de nitrogênio sobre a produção de matéria seca de raiz, no menor nível de pH de cultivo (Quadro 7). Com o acréscimo no valor de pH de cultivo, continuou não havendo influência das fontes de N sobre a matéria seca da raiz, contudo, as produções deste parâmetro foram superiores às aquelas obtidas em condição de acidez elevada. Da mesma forma, a correção da acidez no solo LR, independentemente da fonte de nitrogênio utilizada, propiciou um aumento na matéria seca total do feijoeiro.

No solo LE, ao contrário do solo LR, mesmo em condições de elevada acidez, não se observou uma diferença entre as fontes de nitrogênio em termos de produção de matéria seca total do feijoeiro (Quadro 7). Contudo, os teores de amônio observados no solo LE ao final do experimento paralelo de nitrificação, no tratamento SA, eram bastante inferiores aqueles verificados no solo LR. No nível mais elevado de pH de cultivo do LE, surpreendentemente, as fontes de nitrogênio sulfato de amônio e uréia condicionaram maiores produções de matéria seca total, quando comparado com o nitrato de amônio. A maior predominância de nitrato neste tratamento (NA), aliado ao fato que cinquenta por cento do N fornecido por esta fonte de nitrogênio já se encontra na forma nítrica, pode ter acarretado uma diminuição na produção de matéria seca pelo feijoeiro. Tal fato foi notado no estudo de GUAZELLI (1988), a qual observou uma diminuição na matéria seca do feijoeiro, quando o suprimento do nitrogênio se dava exclusivamente na forma de nitrato. Provavelmente, esta

redução no crescimento do feijoeiro esteja relacionada ao processo de redução do nitrato à amônio nos tecidos das plantas, a fim de que o nitrogênio possa ser asssimilado. É sabido que este processo de redução implica em gasto de energia e que uma maior proporção de amônio no meio de cultivo resultaria em um menor consumo de energia, já que esta forma de N pode ser diretamente assimilada pelas plantas, sem passar pelo processo de redução, energia esta que poderia ser utilizada para a absorção de nutrientes e nos processos metabólicos envolvidos no crescimento e desenvolvimento das plantas (COX & REISENAUER, 1973).

De forma similar ao solo LR, foi observado no solo LV-Itu uma redução na quantidade de matéria seca total, quando o nitrogênio foi suprido na forma de sulfato de amônio, no nível mais baixo de pH de cultivo (Quadro 7). Nestas condições de acidez, mais uma vez, as fontes de nitrogênio NA e Uréia condicionaram as maiores produções de matéria seca total do feijoeiro, com acréscimo de 75% e 58%, respectivamente, quando comparado com a produção obtida com o uso do sulfato de amônio. Outra vez, observou-se nos tratamentos em que se aplicou o sulfato de amônio altos teores de nitrogênio na forma amoniacal (Quadro 8). Assim, a menor produção de matéria seca observada no solo LV-Itu, no menor nível de pH de cultivo, deve estar relacionada a uma elevada absorção do íon amônio pelo feijoeiro, face à maior queda no valor de pH observada no final do cultivo

desta cultura (Quadro 8). Possivelmente esta queda de pH não esteja relacionada à nitrificação, dada a baixa intensidade deste processo neste tratamento.

Um indício forte desta elevada absorção de amônio pelas plantas de feijoeiro no solo LV-Itu, foi os altos teores de N total observados na parte aérea desta cultura no tratamento em que se aplicou o N através do uso do sulfato de amônio, no nível mais elevado de acidez (Quadro 9). Segundo HAGEMAN (1984), é comum o acúmulo de altos teores de nitrogênio total em plantas predominantemente supridas com o íon amônio. De acordo com TOLLEY-HENRY & RAPER (1986), o alto acúmulo de amônio nos tecidos das plantas acarreta um declínio na atividade fotossintética, de modo que esta atividade pode atingir níveis abaixo daqueles adequados à demanda de respiração das plantas. Com isso, segundo esses autores, 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 e o desenvolvimento das plantas. Segundo KIRKBY & MENGEL (1967), esses maiores teores de nitrogênio total verificados nos tecidos de plantas supridas com o íon amônio podem ser um resultado também do efeito de concentração, face ao menor crescimento das plantas expostas ao nitrogênio na forma amoniacal, o que foi verificado no solo LV-Itu com a produção de matéria seca nos tratamentos em que não se procedeu a adição de

nitrogênio e naquele onde se adicionou o sulfato de amônio, no nível mais baixo de pH de cultivo.

Analisando mais uma vez os teores de nitrogênio total verificados nos tecidos do feijoeiro (Quadro 9), observa-se que esse parâmetro não se caracterizou em um critério satisfatório para a avaliação das fontes de nitrogênio, na medida que não foi obtido uma correlação dos teores de N total com a matéria seca produzida pelo feijoeiro nos vários tratamentos estudados, o que está de acordo com os dados obtidos por MORRIS & GIDDENS (1963) e HORST et al. (1985).

Com a correção da acidez no solo LV-Itu, não foi observado influência das fontes de nitrogênio sobre as produções de matéria seca total e de raiz do feijoeiro (Quadro 7), contudo verificou-se decréscimo na produção de matéria seca em relação àquela obtida em condições de elevada acidez. Com a elevação do pH no solo LV-Itu, pH de cultivo igual a 6,6, possivelmente outros fatores, que não as fontes de nitrogênio, tenham limitado o crescimento do feijoeiro. Uma possibilidade, seria a baixa disponibilidade de micronutrientes catiônicos neste solo, dado ao elevado pH de cultivo (Quadro 4) e ao baixo teor de matéria orgânica presente no solo LV-Itu (Quadro 2).

Com relação à produção de matéria seca de raiz pelo feijoeiro, só foi observado restrição ao crescimento radicular do feijoeiro no solo LV-Itu, no tratamento em se supriu o N com a utilização do sulfato de amônio, além do tratamento em que não se

procedeu a adição de nitrogênio, no menor nível de pH de cultivo. Possivelmente, essa forte restrição ao desenvolvimento radicular tenha acarretado uma redução na capacidade de absorção de nutrientes, inclusive do amônio, conforme foi verificado por GUAZELLI (1988).

Quando se analisou a produção de matéria seca total obtida com o uso do sulfato de amônio, nos quatro solos estudados e no nível mais elevado de pH de cultivo, verificou-se que esta fonte de nitrogênio produziu quantidades de matéria seca iguais ou superiores às quantificadas nos tratamentos em que o nitrogênio foi suprido na forma de uréia ou nitrato de amônio. Esta melhor performance do sulfato de amônio, em condições de pH do solo mais elevado, possivelmente está relacionada a uma maior conversão do amônio proveniente desta fonte de N a nitrato, conforme pode ser observado no quadro 8. Contudo, mesmo que o feijoeiro tenha sido exposto a um maior teor de N na forma amoniacal, com o uso do sulfato de amônio, como aconteceu no solo LV-Itu, os possíveis efeitos tóxicos dessa forma de N seriam amenizados em condições de pH do solo mais elevado, conforme ficou evidenciado no trabalho de BARKER et al. (1966b), os quais observaram que o controle da acidez no ambiente radicular durante a absorção do amônio propiciou um aumento na incorporação dessa forma de N à cadeia de compostos nitrogenados no tecido radicular, restringindo o movimento do íon amônio para a parte aérea do feijoeiro, prevenindo os efeitos prejudiciais causados

QUADRO 9 - Composição química da parte aérea do feijoeiro cultivado em quatro solos do Sul de Minas Gerais, submetido a diferentes fontes de nitrogênio e a dois níveis de acidez do solo, na fase inicial de crescimento (Média de 3 repetições).

Solo de cultivo	pH	Fonte de N	N total	Cátions acumulados			total (C)	Ânions acumulados		total (A)	C-A
				K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
			---	-----			umol/g mat. seca	-----			
HGH	4,6	S/N	1,22	203	378	88	669	48	69	117	552
		SA	1,97	218	372	96	686	45	119	164	522
		NA	2,89	256	420	96	772	45	94	139	633
		URÉIA	2,97	246	390	96	732	39	91	130	602
LR	5,9	S/N	1,97	264	412	154	830	42	88	130	700
		SA	3,77	344	610	212	1166	52	122	174	992
		NA	4,39	415	620	217	1252	52	91	143	1109
		URÉIA	4,15	318	560	192	1070	42	94	136	934
LE	5,2	S/N	1,61	438	230	146	814	61	103	164	650
		SA	3,14	377	205	167	749	48	125	173	576
		NA	2,80	403	202	146	751	45	78	123	628
		URÉIA	2,79	251	190	125	566	52	47	99	467
LV-Itu	6,4	S/N	2,85	336	462	142	940	55	81	136	804
		SA	2,81	269	442	142	853	45	122	167	686
		NA	2,74	238	452	154	844	58	44	102	742
		URÉIA	2,90	203	432	150	785	64	47	111	674
LV-Itu	5,1	S/N	1,99	390	392	142	924	55	112	167	757
		SA	2,57	272	305	112	689	45	141	186	503
		NA	2,23	221	310	108	639	32	84	116	523
		URÉIA	2,57	267	290	112	669	45	112	157	512
LV-Itu	5,6	S/N	2,30	318	385	142	845	35	100	135	710
		SA	2,66	254	412	167	833	35	122	157	676
		NA	2,64	313	600	200	1113	32	88	120	993
		URÉIA	2,93	290	475	167	932	39	94	133	799
LV-Itu	6,0	S/N	3,49	433	285	138	856	71	78	149	707
		SA	3,65	382	290	229	901	77	131	208	693
		NA	2,83	300	262	146	708	61	91	152	556
		URÉIA	2,68	310	250	150	710	61	106	167	543
LV-Itu	6,6	S/N	2,93	415	312	146	873	61	84	145	728
		SA	3,45	418	392	217	1027	77	156	233	794
		NA	3,17	331	375	212	918	52	103	155	763
		URÉIA	3,29	341	325	175	841	58	103	161	680

por altas concentrações dessa forma de nitrogênio nas folhas. Além disso, a elevação nos teores de cálcio, com a correção da acidez do solo, pode ter acarretado um uso mais eficiente do N oriundo do sulfato de amônio, tendo em vista que no trabalho de FENN et al. (1987), o aumento nos teores de cálcio em soluções de cultivo contendo exclusivamente o amônio como fonte de N, ocasionaram uma elevação na produção de matéria seca do feijoeiro.

No quadro 9, além dos teores de nitrogênio total, é apresentado também a composição química da parte aérea do feijoeiro, após trinta e dois dias de cultivo. No geral, nos tratamentos onde houve uma maior predominância do amônio no meio de cultivo, observou-se uma restrição à absorção de cátions (C) e um aumento no acúmulo de ânions (A) na parte aérea do feijoeiro, acarretando uma queda na diferença C-A (Quadro 9). Contudo, com o predomínio do íon amônio na nutrição das plantas, o que ficou mais caracterizado foi um aumento na acumulação de ânions. Resultados semelhantes foram obtidos por GUAZELLI (1988), a qual observou um decréscimo na diferença C-A, com o aumento das proporções de amônio na solução nutritiva para o cultivo do feijoeiro. De acordo com TROELSTRA (1983), o valor C-A se constitui em um bom indicador da forma de nitrogênio predominantemente disponível para as plantas.

Contrariando os resultados apresentados por MORAGHAN & PORTER (1975) e VALE et al. (1988), os quais observaram uma forte

inibição na absorção de potássio por plantas nutridas com amônio, no presente estudo, não ficou bem caracterizada esta diminuição na aquisição deste nutriente nos tratamentos com maior predominância de amônio. O que ficou bem claro foi os maiores teores de fósforo acumulado nas plantas de feijoeiro cultivadas no solo LV-Itu. Isso se deveu, possivelmente, a maior disponibilidade do íon fosfato neste solo de textura média, ou ao efeito de concentração do P nos tecidos das plantas, dado a obtenção de menores produções de matéria seca neste solo.

Nas figuras 8, 9, 10 e 11 são apresentados os incrementos de crescimento foliar do feijoeiro, avaliados após a aplicação de nitrogênio em cada parcela, nos quatro solos em que se procedeu o cultivo desta cultura e em função de dois níveis de pH de cultivo do feijoeiro e da aplicação das quatro fontes de nitrogênio, incluindo o tratamento que não se procedeu a adição de nitrogênio. De modo geral, houve uma tendência deste parâmetro em reproduzir os resultados obtidos para matéria seca total, ou seja, a maior expansão foliar sendo verificada nos tratamentos em que as condições de acidez do solo e/ou as fontes de nitrogênio propiciaram um suprimento mais balanceado de nitrato e amônio para o feijoeiro. No solo HGH (Figura 8) só foi notada uma menor expansão foliar no tratamento em que não se procedeu a adição de nitrogênio, no nível mais baixo de pH. Para os outros tratamentos, neste solo, e nos dois níveis de pH, praticamente não houve diferença em termos de crescimento foliar. Para os

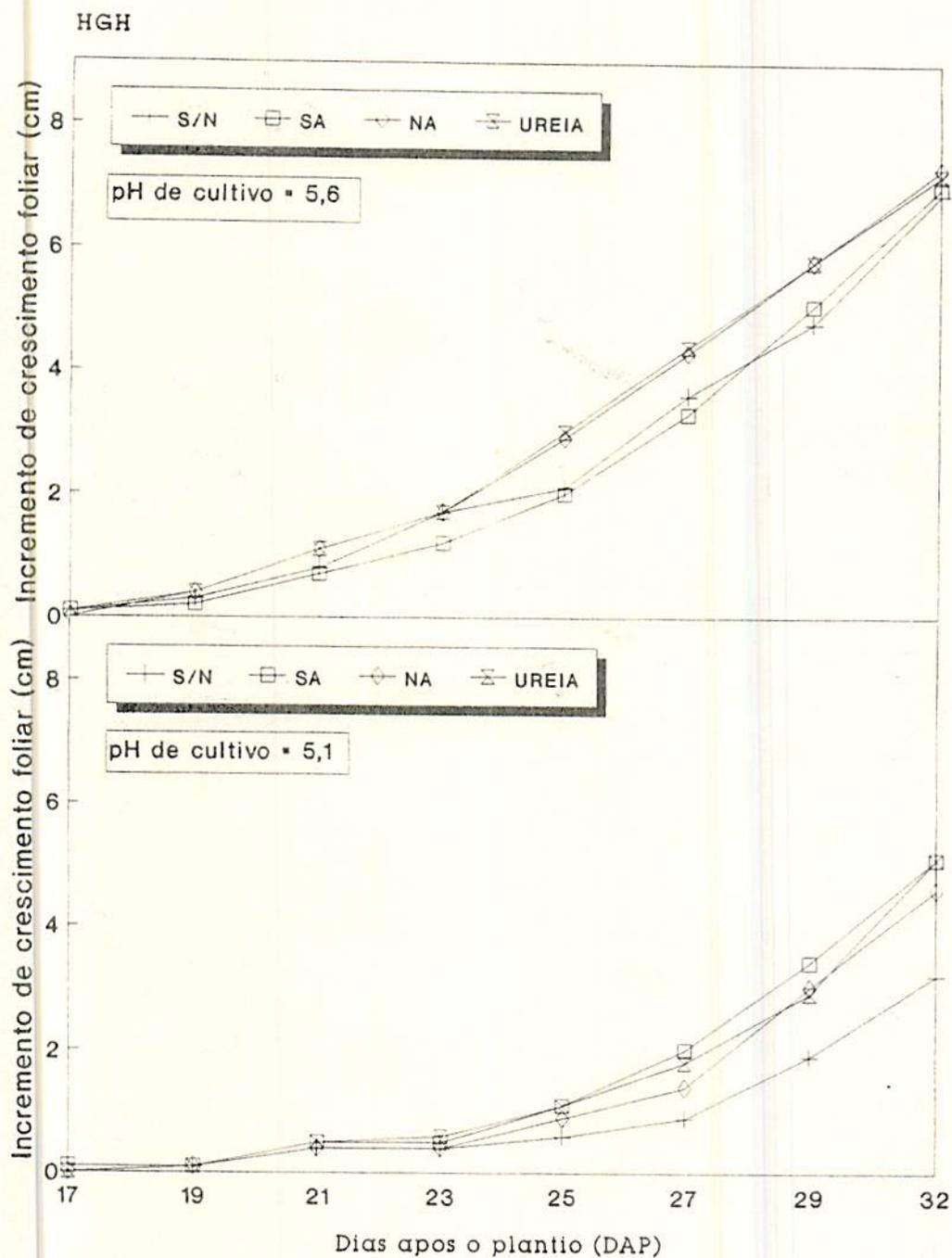


FIGURA 8 - Influência de diferentes fertilizantes nitrogenados sobre o incremento acumulado de crescimento foliar do feijoeiro cultivado por trinta e dois dias em solo Glei Húmico (HGH) e submetido a dois níveis de pH de cultivo.

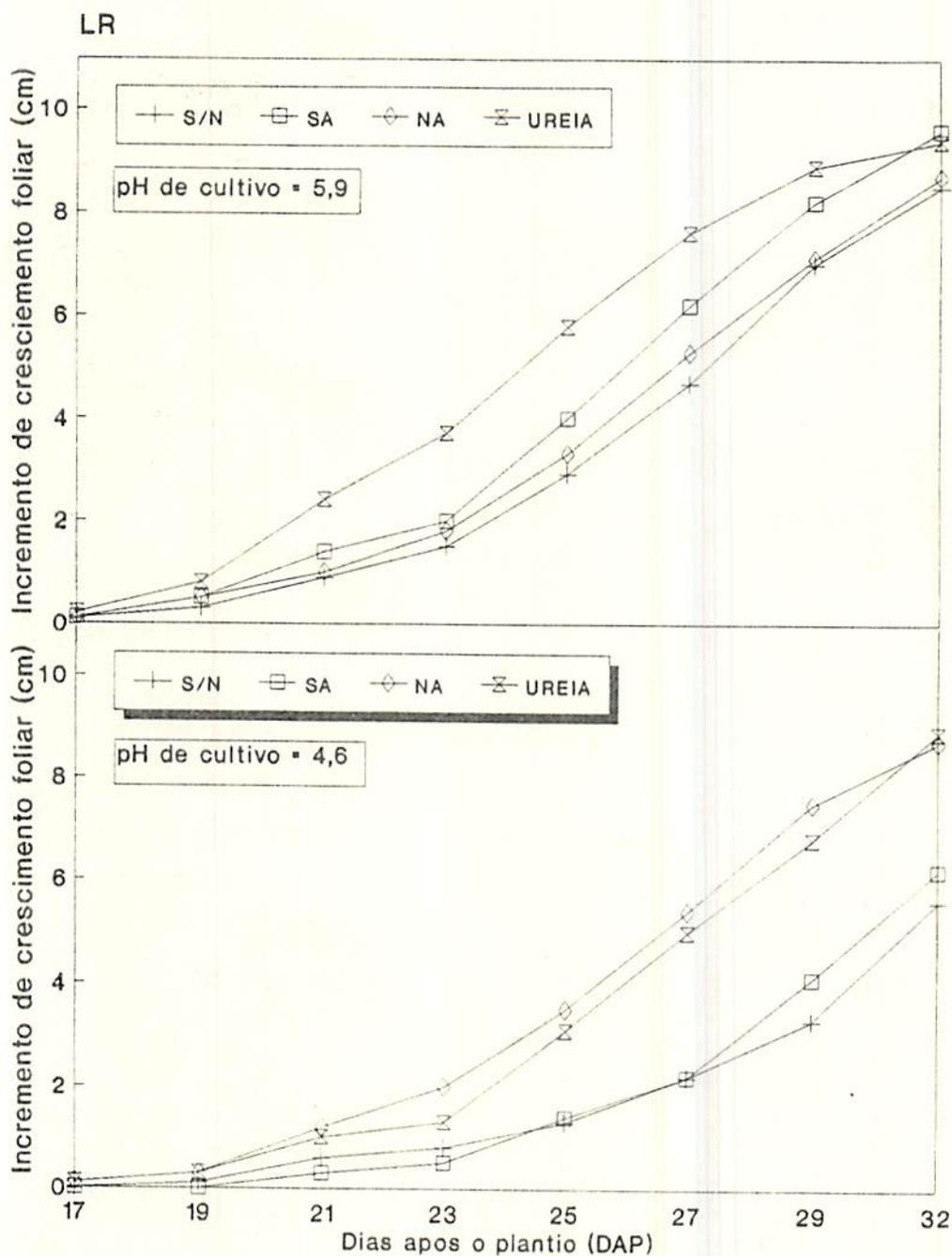


FIGURA 9 - Influência de diferentes fertilizantes nitrogenados sobre o incremento acumulado de crescimento foliar do feijoeiro cultivado por trinta e dois dias em um Latossolo Roxo (LR) e submetido a dois níveis de pH de cultivo.

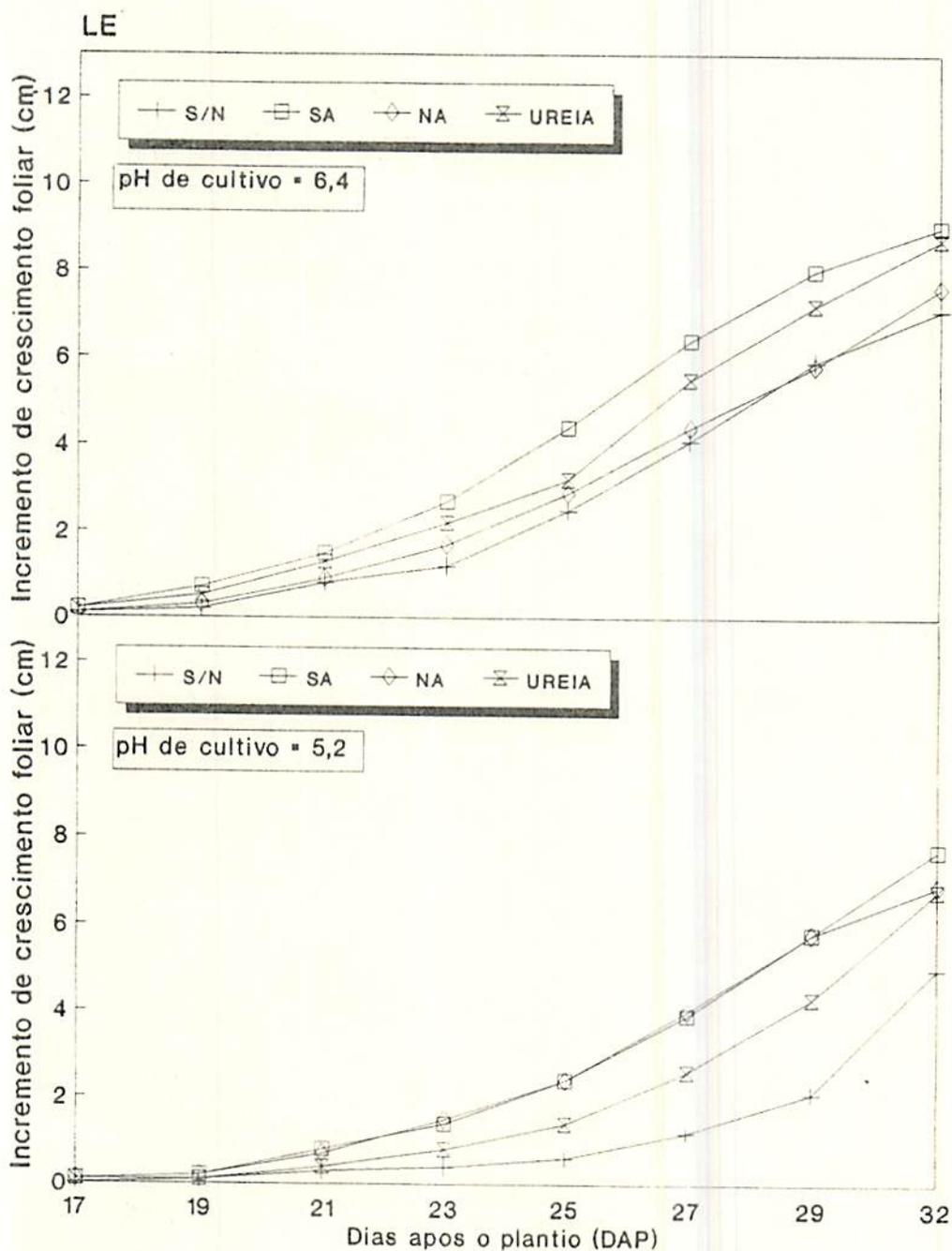


FIGURA 10 - Influência de diferentes fertilizantes nitrogenados sobre o incremento acumulado de crescimento foliar do feijoeiro cultivado por trinta e dois dias em um Latossolo Vermelho Escuro (LE) e submetido a dois níveis de pH de cultivo.

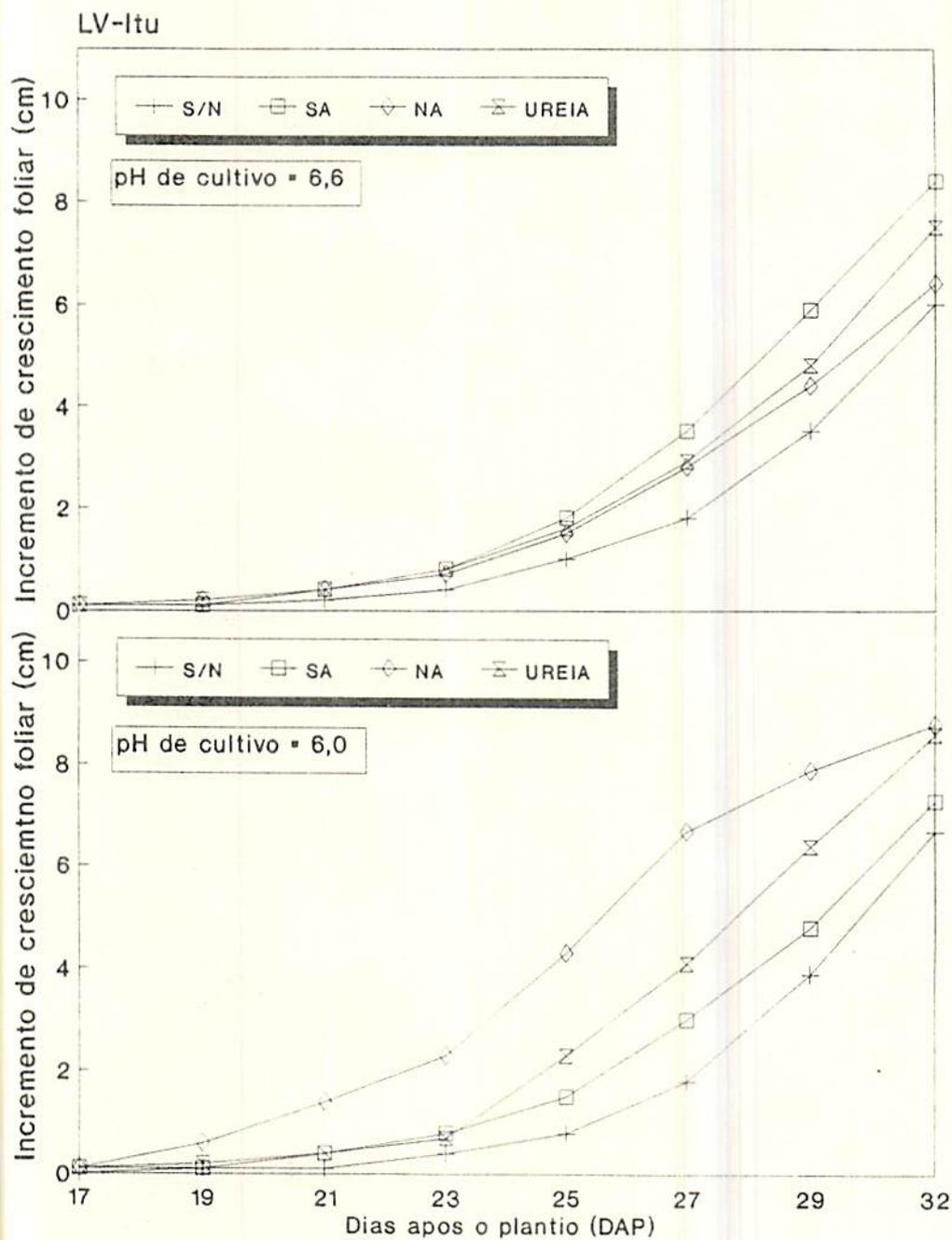


FIGURA 11 - Influência de diferentes fertilizantes nitrogenados sobre o incremento acumulado de crescimento foliar do feijoeiro cultivado por trinta e dois dias em um Latossolo Vermelho Amarelo (LV-Itu) e submetido a dois níveis de pH de cultivo.

solos LR (Figura 9) e LV-Itu (Figura 11), principalmente na condição de acidez mais elevada, a intensidade de incremento foliar praticamente repetiu os resultados alcançados para matéria seca total, ou seja, as fontes de nitrogênio nitrato de amônio e uréia condicionando as maiores expansões foliares. No solo LE, no menor nível de pH de cultivo, o tratamento que propiciou o menor crescimento foliar foi aquele em que não se procedeu a adição de nitrogênio (Figura 10). Contudo, apesar da menor expansão foliar, não foi este tratamento o que condicionou a menor produção de matéria seca total. Uma possibilidade para explicar este comportamento do feijoeiro, em termos de crescimento foliar, na ausência de adição de nitrogênio, seria o fato de que, apesar das folhas apresentarem menor tamanho, elas estariam presentes em maior número neste tratamento.

A influência da predominância do amônio no meio de cultivo, causando restrição no crescimento foliar, já foi verificada nos trabalhos de GUAZELLI (1988) e MCELHANNON & MILLS (1978), os quais observaram um decréscimo no comprimento foliar com o aumento da proporção de amônio além de 50% na solução nutritiva. Contudo, TOLLEY-HENRY & RAPER (1986) só observou uma restrição na expansão foliar da soja, nutrida exclusivamente com o íon amônio, quando o pH de cultivo atingiu o nível de 4,1, sendo verificado também, nestas condições de acidez, uma diminuição na atividade fotossintética da soja.

Assim, as maiores produções de matéria seca total observadas com a aplicação de nitrato de amônio e uréia, respectivamente, nos solos LV-Itu e LR, no menor nível de pH de cultivo, quando comparada àquelas obtidas com o uso do sulfato de amônio, se deveu, possivelmente, ao fato destas fontes de nitrogênio se interagirem com o fator acidez do solo, de forma a proporcionarem, principalmente nas condições limitantes ao processo de nitrificação, um suprimento mais balanceado de amônio e de nitrato ao feijoeiro. Tal comportamento do nitrato de amônio no solo LV-Itu, solo de textura média, concorda com as observações de VALE (\*), o qual relata que em solos da classe Areia Quartzosa, localizados na região sudoeste da Bahia, as maiores produções de feijão foram obtidas nas áreas em que se utilizou o nitrato de amônio como fonte de nitrogênio.

O uso do sulfato de amônio, após a correção da acidez do solo, possibilitou a obtenção de produções de matéria seca total equivalentes ou superiores àquelas obtidas com a aplicação da uréia ou do nitrato de amônio. Apesar do maior acúmulo de cátions na parte do feijoeiro, no maior nível de pH de cultivo do solo HGH, não foi observado influência das fontes de nitrogênio, tão pouco dos níveis de pH de cultivo sobre as produções de matéria seca total verificadas neste solo.

---

\* VALE, F.R. Professor Titular. Departamento de Ciência do Solo, ESAL. 1994. (Informação pessoal)

## 5. CONCLUSÕES

- a) As quantidades de nitrogênio nitrificado diferiram grandemente entre os materiais de solos estudados, variando de 0 no solo LV-Itu a 197 mg/kg no solo Orgânico;
- b) A adição de quantidades crescentes de corretivo propiciaram elevação progressiva nos teores de nitrato produzido, à exceção do solo LV-Itu;
- c) A nitrificação foi favorecida pela eliminação do Al, pelo acréscimo nos níveis de Ca e elevação do V% para valores superiores a 40%. Nos solos com altos teores de  $Al^{3+}$ , verificou-se correlação negativa entre este elemento e a nitrificação;
- d) Os maiores níveis de nitrato produzido foram observados nos solos com os teores mais elevados de matéria orgânica, o HGH, Orgânico, LR e LV;

- e) Analisando-se a quantidade de nitrato produzido nos diversos solos, para diferentes graus de correção de acidez do solo, verificou-se que os níveis de  $m\%$  e os teores de cálcio se caracterizaram como condicionantes primários da nitrificação;
- f) A adição de nitrogênio na forma de uréia resultou em maior produção de nitrato, que o sulfato de amônio, nos solos LR, HGP, LE e LV-Din, para condições similares de pH do solo;
- g) Em condições de elevada acidez, a uréia mostrou nitrificação mais rápida que o sulfato de amônio.
- h) Em solos com baixa nitrificação como no LR e LV-Itu, verificou-se crescimento reduzido do feijoeiro. Nestas condições, as maiores produções de matéria seca são obtidas com o uso da uréia e do nitrato de amônio, que propiciaram um suprimento mais balanceado de amônio e nitrato;
- k) Quando se procedeu a correção da acidez, o sulfato de amônio mostrou-se tão eficiente quanto a uréia e o nitrato de amônio para o crescimento inicial do feijoeiro.

## 6. RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito da acidez do solo e da adição de fontes de nitrogênio sobre a nitrificação e sobre o crescimento inicial do feijoeiro em solos representativos da região Sul de Minas Gerais, foram conduzidos três experimentos no Departamento de Ciência do Solo da ESAL, no período de julho de 1992 a maio de 1993. No primeiro experimento avaliou-se o efeito da acidez do solo sobre a nitrificação, através da incubação de oito solos de sequeiro e três solos do ecossistema várzea. Amostras destes solos foram incubadas com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  por 30 dias. As quantidades de corretivo, para cada solo, foram calculadas em função da utilização de sete níveis de V% (Natural, 25%, 50%, 75%, 100%, 125% e 150%), objetivando-se a obtenção de uma ampla faixa de pH. Após a adição de 100 mg N/kg de solo corrigido, na forma de sulfato de amônio, procedeu-se a incubação dos onze materiais de solo por quinze dias, a fim de avaliar-se a dinâmica de transformação do N. No segundo experimento avaliou-

se o efeito de fontes de nitrogênio (uréia ou sulfato de amônio) sobre a nitrificação, em cinco solos (HGP, LE, LR, LV-Itu e LV-Din), selecionados com base no experimento I, e submetidos a três níveis de pH. No terceiro experimento, avaliou-se a influência da acidez do solo e da adição de 150 mg N/kg solo, na forma de uréia, sulfato de amônio e de nitrato de amônio, sobre o crescimento do feijoeiro em solos com diferentes teores de matéria orgânica e níveis de pH. O feijoeiro foi cultivado em copos plásticos, por um período de trinta e dois dias. Avaliou-se o incremento em crescimento foliar, matéria seca total, da raiz e da parte aérea e o acúmulo de nutrientes no material vegetal do feijoeiro. Os teores de nitrato produzido variaram de 0 a 197 mg/kg de solo, sendo significativamente influenciados pela correção da acidez do solo, à exceção do solo LV-Itu. O aumento nas quantidades de corretivo adicionado acarretaram elevações progressivas nas quantidades de nitrato produzido. As maiores produções de nitrato foram obtidas nos solos com os teores mais elevados de matéria orgânica, que foram o Orgânico, HGH, LR e LV, para condições de pH próximas da neutralidade e/ou em condições onde se procedeu a eliminação do alumínio e acréscimos nos teores de cálcio presentes nestes solos. Quando se avaliou o nitrato produzido nos onze materiais de solo, verificou-se que os teores de cálcio e os níveis de m% se caracterizaram como condicionantes primários da nitrificação. Nos solos com altos teores de alumínio trocável, observou-se que este

influenciou negativamente a produção de nitrato. Verificou-se um comportamento diferenciado das fontes de nitrogênio sobre a nitrificação, para condições similares de pH do solo, em função da adição de nitrogênio na forma de uréia ter resultado em maiores teores de N nitrificado, em relação ao sulfato de amônio, muito provavelmente devido à elevação do pH nas proximidades do grânulo de uréia. No solo LV-Itu, onde se notou impedimento à conversão do amônio a nitrato, mesmo os valores mais elevados de pH não propiciaram condições adequadas à nitrificação do N da uréia e do sulfato de amônio. Nos solos LR e LV-Itu, em condições de elevada acidez e/ou baixa nitrificação, o uso das fontes de nitrogênio uréia e nitrato de amônio resultaram na obtenção das maiores produções de matéria seca total. Com a elevação nos valores de pH de cultivo, entretanto, o sulfato de amônio proporcionou crescimento do feijoeiro equivalente àquele obtido com o uso de nitrato de amônio e de uréia, indicando que as condições de acidez do solo precisam ser consideradas na recomendação desta fonte nitrogenada.

## 7. SUMMARY

### EFFECTS OF LIMING AND SOURCES OF NITROGEN ON SOIL NITRIFICATION AND GROWTH OF DRY BEAN (Phaseolus vulgaris L.)

With the purpose of evaluating the effect of soil acidity and addition of nitrogen sources on nitrification and initial growth of bean plant, three experiments were conducted, in representative soils of the Southern Region of the Minas Gerais State, Brazil. The study was conducted at the Department of Soil Science - ESAL, Lavras (MG). In the first experiment, the effect of soil acidity on nitrification was evaluated, through incubation of samples from eight upland soils and three flooded soils, with increasing levels of a mixture  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , for thirty days. The amounts of  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$  added to each soil, were accordly calculated in order to obtain seven levels of base saturation (V%) as being: natural, 25%, 50%, 75%, 100%, 125% e 150%. This provides a pH range of 4,7 to 7,3. Samples were then

amended with 100 mg N/kg of soil, as ammonium sulphate, and incubated for another fifteen days in order to assess the dynamics of N transformation. In the second experiment, the effects of soil pH and sources (urea or ammonium sulphate) on nitrification were assessed in samples from five selected soils. In third experiment, the effects of soil pH and addition of 150 mg N/kg soil from different sources (urea, ammonium sulphate and nitrate ammonium) on growth of bean plant in soils with different contents of organic matter and pH levels were evaluated. Bean plants were grown in plastic pots, over a period of thirty-two days under greenhouse conditions. The increase in leaf growth, shoot and root dry matter yield and nutrient accumulation was assessed. Soil nitrate production ranged from 0 to 197 mg/kg of soil, and it was significantly influenced by the acidity correction of soil, except for one soil (LV-Itu). The increase in the amounts of  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$  brought about progressive increases in the amounts of nitrate produced. Nitrate levels were higher in soils with the higher contents of organic matter, such as the Organic, HGH, LR and LV, when  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$  amendments were high enough to reduce acidity, eliminate aluminium toxicity and supply enough calcium. Calcium levels and percent of Al saturation were characterized as the primary factors determining nitrification rates in three soils. In soils with high exchangeable aluminum it was verified a negative correlation between  $\text{Al}^{3+}$  and nitrate production. It was also verified a distinguished behavior for

nitrogen sources on nitrification. At similar pH conditions, addition of urea resulted in increased amount of nitrified N, as compared to ammonium sulphate. In one of the studied soil (LV-Itu) nitrification was extremely low, regardless of the N-source. Even under high acidity, where nitrification is reduced, dry bean grew well when urea or ammonium nitrate were used as N-source. At high pH ammonium sulphate was shown to be a N-source as good as ammonium nitrate or urea. This indicate that soil acidity should be taken into consideration for recommending nitrogen sources.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

01. AARNIO, T. & MARTIKAINEN, P.J. Nitrification in forest soil after refertilization with urea and dicyandiamide. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 24(10):951-4, 1992.
02. ADAMS, J.A. Identification of heterotrophic nitrification in strongly acid larch humus. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 18(30):339-41, 1986.
03. ALEXANDER, M. Nitrification. In: BARTOLOMEW, W.V. & CLARK, F.E. *Soil Nitrogen* Madison, American Society of Agronomy, 1965. c.8, p.307-43.
04. BARBER, K. L. & PIERZYNSKI, G. M. Ammonium and nitrate source effects on field crops. *Journal of Fertilizer Issues*, 8(3):57-62, 1991.
05. BARKER, A.V.; VOLK, R.J. & JACKSON, W.A. Growth and nitrogen distribution patterns in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to ammonium nutrition: I. Effects of carbonates and acidity control. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 30(2):228-32, Mar./Apr. 1966a.
06. BARKER, A.V.; VOLK, R.J. & JACKSON, W.A. Root environment acidity as a regulatory factor in ammonium assimilation by the bean plant. *Plant Physiology*, Maryland, 41:1193-9, 1966b.
07. BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas, IAC, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

08. BERNARDO, L.M.; CLARK, R.B. & MARANVILLE, J.W. Nitrate/ammonium ratio effects on nutrient solution pH, dry matter and nitrogen uptake of sorghum. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 7:1389-400, 1984.
09. BRAR, S.S. & GIDDENS, J. Inhibition of nitrification in Bladen grassland soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 32:821-3, 1968.
10. BREMNER, J.M. & MULVANEY, C.S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L., ed. *Methods of soil analysis ; chemical and microbiological properties*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy/Soil Science Society American, 1982. c.31, p.595-624.
11. CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas, IAC, 1986. 94p.
12. CORNFIELD, A.H. Mineralization, during incubation, of the organic nitrogen compounds in soils as related to soil pH. *Journal of Science Food Agricultural*, Baltimore, 10:27-8, 1959.
13. COX, W.J. & REISENAUER, H.M. Growth and ion uptake by wheat supplied nitrogen as nitrate or ammonium or both. *Plant and Soil*, The Hague, 38:363-80, 1973.
14. DANCER, W. S.; PETERSON, L. A. & CHESTERS, G. Ammonification and nitrification of N as influenced by soil pH and previous N treatments. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 37,67-9, 1973.
15. ENO, C. F. & BLUE, W. The comparative rate of nitrification of anhydrous ammonia, urea, and ammonium sulphate in sandy soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 21:392-6, 1957.
16. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Manual de métodos de análises do solo*. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
17. FENN, L.B.; TAYLOR, R.M. & HORST, G.L. *Phaseolus vulgaris* L. growth in an ammonium-based nutrient solution with variable calcium. *Agronomy Journal*, Madison, 79(1):89-91, Jan./Feb. 1987.

18. FOCHT, D.D. & VERSTRAETE, W. Biochemical ecology of nitrification and denitrification. In: ALEXANDER, M. *Advances in microbial ecology*. New York, Plenum Press, 1977. c.4, p.135-214.
19. FREITAS, S. S. Mineralização e imobilização do nitrogênio em solo suplementado com torta de filtro de usina de açúcar de cana e carbonato de cálcio. Piracicaba, ESALQ, 1985. 65p. (Tese MS).
20. GIGON, A. & RORISON, J.H. The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and ammonium-nitrogen. *Journal of Ecology*, 60:93-102, 1972.
21. GILMOUR, J.T. The effects of soil properties on nitrification and nitrification inhibition. *Soil Science Society of America Journal*, New Orleans, 48:1262-6, 1984.
22. GUAZELLI, E.M.F.M. Efeito do nitrato e amônio no crescimento, assimilação e eficiência de utilização do nitrogênio por cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na fase inicial de crescimento. Lavras, ESAL, 1988. 112p. (Tese MS).
23. GUNDERSEN, P & RASMUSSEN, L. Nitrification in forest soils: effects from nitrogen deposition on soil acidification and aluminum release. In: *Reviews of environmental contamination and toxicology*. New York, Springer-Verlag, 1990. v.113, p.1-42.
24. HAGEMAN, R.H. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. In: HAUCK, R.D., ed. *Nitrogen in crop production*. Madison, ASA/CSSA/SSSSCA, 1984. c.4, p.67-95.
25. HARTIKAINEN, H. & KOIVUNEN, M. Mobilization of soil phosphorus as induced by urea hydrolysis. In: *INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE*, 14, Kioto, 1991. *Proceedings...* Kioto, International Society of Soil Science, 1991. v.2, p.204-9.
26. HAVIL, D. C.; LEE, J.A. & STEWART, G.R. Nitrate utilization by species from acid and calcareous soil. *The New Phytologist*, 73:1221-31, 1974.
27. HAYNES, R. J. Nitrification. In: HAYNES, R. J., ed. *Mineral nitrogen in the plant-soil system*. Madison, Academic Press, 1986a. p.127-65.

28. HAYNES, R.J. Uptake and assimilation of mineral nitrogen by plants. In: HAYNES, R.J., ed. *Mineral nitrogen in the plant-soil system*. Madison, Academic Press, 1986b. p.303-78.
29. HAYNES, R.J. & GOH, K.M. Ammonium and nitrate nutrition of plants. *Biological Reviews*, Cambridge, 53:465-510, 1978.
30. HORST, G.L.; FENN, L.B. & DUNNING, N.B. Bermudagrass turf responses to nitrogen sources. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, Alexandria, 110(6):759-61, 1985.
31. ISHAQUE, M. & CORNFIELD, A.H. Nitrogen mineralization and nitrification during incubation of East Pakistan "tea" soils in relation to pH. *Plant and Soil*, The Hague, 37:91-5, 1972.
32. JONES, Jr.; MILLS, H.A. & McELHANNON, W.S. Changing nitrogen source on the yield and nitrogen content of soybeans. *Plant and Soil*, The Hague, 66:391-6, 1982.
33. KAILA, A. Nitrification in decomposing organic matter. *Acta Agricultural Scandinavica*, 4:17-32, 1954.
34. KEENEY, D. R. & NELSON, D. W. Nitrogen-inorganic forms In: PAGE, A. L. ed. *Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties*. 2ed. Madison, Am. Soc. Agronomy/ Soil Science Soc. America, 1982. c.33, p.643-98.
35. KILHAM, K. Nitrification in coniferous forest soils. *Plant and Soil*, The Hague, 128(1):31-44, 1990.
36. KIRKBY, E.A. Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen, and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solutions. *Soil Science*, Baltimore, 105(3):133-41, 1968.
37. KIRKBY, E.A. & MENGEL, K. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiology*, Maryland, 42:6-14, 1967.
38. KIRKBY, E.A. & HUGHES, A.D. Some aspects of ammonium and nitrate nutrition in plant metabolism. In: KIRKBY, E.A., ed. *Nitrogen nutrition of the plant*. England, University of Leeds, 1970. p.69-77.

39. KRAJINA, V.J.; MADOC-JONES, S. & MELLOR, G. Ammonium and nitrate in the nitrogen economy of some conifers growing in Douglas-fir communities of the Pacific northwest of America. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 5:143-7, 1973.
40. MARSCHNER, B. & WILCZYNSKI, A.W. The effect of liming on quantity and chemical composition of soil organic matter in pine forest in Berlin, Germany. *Plant and Soil*, The Hague, 137(2):229-36, Nov. 1991.
41. MARTIKAINEN, P. J. Nitrification in forest soil of different pH as affected by urea, ammonium sulphate and potassium sulphate. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 17(3):363-7, 1985.
42. MARTIKAINEN, P.J. Nitrification in two coniferous forest soils after different fertilization treatments. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 16(6):577-82, 1984.
43. McELHANNON, W.S. & MILLS, H.A. Influence of percent nitrate/ammonium on growth, N absorption, and assimilation by Lima beans in solution culture. *Agronomy Journal*, Madison, 70(6):1027-32, 1978.
44. MELLO, F. A. F. Uréia fertilizante. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 192p.
45. MELLO, F.A.F.; POSSIDIO, E.L.; PEREIRA, J.R.; ARAUJO, J.P.; ABRAMOFE, L.; COSTA, O.A. & KIEHL, J.C. Efeito da adição de uréia e do sulfato de amônio sobre a nitrificação em um solo ácido. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. 14, Cuiabá, 1980. Anais... Campinas, SBCS, 1980. p. 77-81.
46. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Nitrogen. In: *Principles of plant nutrition*. 4.ed. Bern, International Potash Institute, 1987. c.7, p.347-84.
47. MONTEIRO, F.A. & WERNER, J.C. Efeitos das adubações nitrogenada e fosfatada em capim-colonião, na formação e em pasto estabelecido. *Boletim da Indústria Animal*, Nova Odessa, 34(1):91-101, jan./jun. 1977.
48. MORAGHAN, J.T. & PORTER, O.A. Maize growth as affected by root temperature and form of nitrogen. *Plant and Soil*, The Hague, 43:479-86, 1975.
49. MORITA, H. Polyphenols in the lime water extractives of peat. *Soil Science*, Baltimore, 120(2):112-6, 1975.

50. MORRIL, L.G. & DAWSON, J.E. Growth rates of nitrifying chemoautotrophs in soil. *Journal of Bacteriology*, 83:205-6, 1962.
51. MORRIL, L.G. & DAWSON, J.E. Patterns observed for the oxidation of ammonium to nitrate by soil organisms. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 31:757-60, 1967.
52. MORRIS, H.D. & GIDDENS, J. Response of several crops to ammonium and nitrate forms of nitrogen as influenced by soil fumigation and liming. *Agronomy Journal*, Madison, 55(4):372-4, July/Aug. 1963.
53. NAFTEL, J.A. The nitrification of ammonium sulphate as influenced by soil reaction and degree of base saturation. *Journal of the American Society Agronomy*, Geneva, 23(3):175-85, Mar. 1931.
54. NELSON, L.E. & SELBY, R. The effect of nitrogen sources and iron levels on the growth and composition of sitka spruce, and scots pine. *Plant and Soil*, The Hague, 41:573-88, 1974.
55. NYBORG, M. & HOYT, P.B. Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. *Canadian Journal of Soil Science*, 58:331-8, 1978.
56. NYBORG, M.; HOYT, P.B. & PENNY, D.C. Ammonification and nitrification of N in soils at 26 field sites one year after liming. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 19(7/12):1371-9, 1988.
57. NYE, P.H. Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. *Plant and Soil*, The Hague, 61:7-26, 1981.
58. PIERRE, W.H.; WEBB, J.R. & SHRADER, W.D. Quantitative effects of nitrogen fertilizer on the development and downward movement of soil acidity in relation to level of fertilization and crop removal in a continuous cropping system. *Agronomy Journal*, Madison, 63:291-7, 1971.
59. PURCHASE, B.S. Evaluation of the claim that grass root exudates inhibit nitrification. *Plant and Soil*, The Hague, 41:527-39, 1974.
60. RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo, Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.

61. RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, IAC, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
62. RICE, E.L. & PANCHOLY, K.S. Inhibition of nitrification by climax ecosystems. American Journal of Botany, Columbus, 59(10):1033-40, 1972.
63. RORISON, I.H. The effects of soil acidity on nutrient availability and plant response. In: HUTCHINSON, T.C. & HAVAS, M. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. New York, Plenum, 1980. p.283-304.
64. RUFTY, T.W.; RAPER, C.D. & JACKSON, W.A. Growth and nitrogen assimilation of soybeans in response to ammonium and nitrate nutrition. Botany Gazety, Chicago, 144:466-70, 1983.
65. SAHRAWAT, K.L. Nitrification in some tropical soils. Plant and Soil, The Hague, 65:281-6, 1982.
66. SANDANAM, S.; KRISHNAPILLAI, S. & SABARATNAM, J. Nitrification of ammonium sulphate and urea in an acid red yellow podzolic tea soil in Sri Lanka in relation to soil fertility. Plant and Soil, The Hague, 49:9-22, 1978.
67. SANTOS, A.R.; VALE, F.R. & SANTOS, J.A.G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do Sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 15:309-13, 1991.
68. SCHMIDT, E.L. Nitrification in soil. In: STEVENSON, F.J. ed. Nitrogen in agricultural soils. Madison, American Society of Agronomy, 1982. c.7, p.253-88.
69. SCHRADER, L.E.; DOMSKA, D.; JUNG, P.E. & PETERSON, L.A. Uptake and assimilation of ammonium-N and nitrate-N and their influence on the growth of corn (*Zea mays* L.). Agronomy Journal, Madison, 64(5):690-5, Sep./Oct. 1972.
70. SPRATT, E.D. Effect of ammonium and nitrate forms of fertilizer-N and their time of application on the utilization of N by wheat. Agronomy Journal, Madison, 66(1):5-61, Jan./Feb. 1974.
71. TOLLEY-HENRY, L. & RAPER, C.D. Utilization of ammonium as a nitrogen source. Plant Physiology, Maryland, 82:54-60, 1986.

72. TROELSTRA, S.R. Growth of *Plantago lanceolata* and *Plantago major* on a nitrate/ammonium medium and the estimation of the utilization of nitrate and ammonium from ionic balance aspects. *Plant and Soil*, The Hague, 70(2):183-97, 1983.
73. VALE, F.R.; VOLK, R.J. & JACKSON, W.A. Simultaneous influx of ammonium and potassium into maize root systems: kinetics and interactions. *Planta*, New York, 173:424-31, 1988.
74. VENKATAKRISHNAN, S. Mineralization of green manure (*Sesbania aculeata* Pers.) nitrogen in sodic and reclaimed soils under flooded conditions. *Plant and Soil*, The Hague, 54:149-52, 1980.
75. WEBER, D.F. & GAINEY, P.L. Relative sensitivity of nitrifying organisms to hydrogen ions in soils and solutions. *Soil Science*, Baltimore, 94:138-48, 1962.
76. WEIER, K.L. & GILLIAM, J.W. Effect of acidity on nitrogen mineralization and nitrification in Atlantic Coastal Plain soils. *Soil Science Society of American Journal*, New Orleans, 50(5):1210-4, 1986.
77. WICKRAMASINGHE, K.N.; RODGERS, G.A. & JENKINSON, D.S. Transformations of nitrogen fertilizers in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 17(5):625-30, 1985.
78. YADVINDER-SINGH & BEAUCHAMP, E.G. Nitrification inhibition with large urea granules, dicyandiamide, and low soil temperature. *Soil Science*, Baltimore, 144(6):413-9, 1987.
79. YADVINDER-SINGH & BEAUCHAMP, E.G. Nitrogen mineralization and nitrifier activity in limed and urea treated soils. *Communication in Soil and Plant Analysis*, New York, 17(12): 1369-81, 1986.
80. ZANTUA, M.I. & BREMNER, J.M. Preservation of soil samples for assay of urease activity. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 7(3):297-9, May/June 1975.

9 - APÉNDICE

QUADRO 1A - Resumo da análise de variância do nitrato produzido em função da acidez do solo durante a incubação por um período de quinze dias de onze solos do Sul de Minas Gerais.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Solos	10	35310,51 **
Nível de V%	6	35020,24 **
Solos X Nível de V%	60	2396,13 **
Resíduo	133	29,45

Média = 67,82  
C.V.(%) = 8,0

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

QUADRO 2A - Resumo da análise de variância do nitrato produzido em função da adição de nitrogênio na forma de uréia ou sulfato de amônio em cinco solos do Sul de Minas Gerais, durante quinze dias de incubação.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Solo	4	26906,29 **
Fonte de N	1	2788,90 **
Nível de V%	2	32082,48 **
Solo X Fonte de N	4	241,15 **
Solo x Nível de V%	8	4759,85 **
Fonte de N X Nível de V%	2	587,63 **
Solo X Fonte de N X Nível de V%	8	180,26 **
Resíduo	60	8,30

Média = 45,59  
C.V.(%) = 6,32

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade (Teste de F)

QUADRO 3A - Resumo da análise de variância da matéria seca total (raiz + parte aérea), matéria seca das raízes e matéria seca da parte aérea do feijoeiro, cultivado por trinta e dois dias em quatro solos do Sul de Minas Gerais.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.		
		m.s.total	m.s.raiz	m.s P.aérea
Solo	3	9,61**	1,80**	3,50**
Fonte N	3	1,00**	0,13**	0,45**
pH de cultivo	1	6,88**	-	3,83**
Solo X Fonte N	9	0,47**	0,03NS	0,28**
Solo X pH de cultivo	3	5,05**	0,34**	2,78**
Fonte N X pH de cultivo	3	1,04**	0,09**	0,64**
Solo X Fonte N X pH cultivo	9	0,20**	0,01NS	0,13**
Resíduo	64	0,08	0,02	0,03
Média		3,20	1,06	2,14
C.V. (%)		8,90	14,35	8,95

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade;  
NS - Não significativo.

QUADRO 4A - Teores de N mineral avaliados no início e no final da incubação dos onze solos estudados com 100 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/Kg de solo por 15 dias a 26 °C, nitrogênio mineralizado (Nitrogênio mineral final menos nitrogênio mineral inicial) e nitrato produzido.

SOLO	NIVEL V%	N min. inic.			N min. final			N miner.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> poduzido
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
mg/Kg solo									
O	0	183	4	187	258	10	268	81	6
	25	187	7	194	265	10	275	81	3
	50	191	16	207	107	211	278	71	51
	75	175	40	215	41	237	278	63	197
	100	148	70	218	13	267	280	62	197
	125	137	100	237	10	293	303	66	193
	150	127	131	258	10	320	330	72	189
HGH	0	137	33	170	89	111	200	30	78
	25	140	30	170	64	138	202	32	108
	50	118	53	171	21	178	199	28	125
	75	117	57	174	10	186	196	22	129
	100	110	61	171	10	186	196	25	125
	125	110	67	177	10	198	208	31	131
	150	113	70	183	10	210	220	37	140
HGP	0	127	7	134	157	15	172	38	8
	25	130	7	137	151	13	164	27	6
	50	123	17	140	50	92	142	2	75
	75	115	17	132	9	118	127	-5	101
	100	111	20	131	10	112	122	-9	92
	125	113	20	133	12	91	103	-30	71
	150	111	23	134	10	105	115	-19	82
LV	0	122	18	140	114	46	160	20	28
	25	113	20	133	95	64	159	26	44
	50	112	20	132	12	139	151	19	119
	75	117	17	134	77	87	164	30	117
	100	110	17	127	17	133	150	23	117
	125	117	20	137	10	158	168	31	115
	150	115	21	136	10	169	179	43	148
LE	0	117	7	124	128	14	142	18	7
	25	117	7	124	128	13	141	17	6
	50	118	7	125	118	19	137	12	12
	75	120	7	127	118	26	144	17	19
	100	120	7	127	56	89	145	18	82
	125	115	10	125	10	128	138	13	119
	150	115	7	122	13	118	131	9	110

Continua...

Continuação.....

	0	117	7	124	114	6	120	-4	0
	25	113	8	121	114	6	120	-1	0
	50	115	11	126	109	5	114	-12	0
LV-Itu	75	114	7	121	105	5	110	-11	0
	100	113	7	120	101	6	107	-13	0
	125	115	7	122	87	10	97	-25	3
	150	110	7	117	84	12	96	-21	5
-----									
	0	113	7	120	128	11	139	19	4
	25	117	7	124	126	11	137	13	4
	50	117	7	124	117	23	140	16	16
LV-Din	75	117	7	124	127	20	147	23	13
	100	118	7	125	126	24	150	25	17
	125	124	7	131	112	42	154	23	35
	150	127	7	134	83	71	154	20	64
-----									
	0	147	4	151	155	8	163	12	4
	25	147	4	151	153	8	161	10	4
	50	144	4	148	156	8	164	16	4
C	75	144	4	148	152	17	169	21	13
	100	144	6	150	150	27	177	27	21
	125	144	7	151	101	70	171	20	63
	150	127	8	135	62	88	150	15	80
-----									
	0	127	15	142	107	45	152	10	37
	25	127	15	142	108	47	155	13	32
	50	113	33	146	20	120	140	-6	87
LU	75	113	33	146	10	134	144	-2	101
	100	113	33	146	10	144	154	8	111
	125	110	33	143	8	148	156	13	115
	150	110	40	150	11	145	156	6	105
-----									
	0	117	13	130	102	73	175	45	60
	25	115	15	130	84	87	171	41	72
	50	116	18	134	40	122	162	28	104
LR	75	115	13	128	17	150	167	39	137
	100	117	13	130	10	155	165	35	142
	125	117	13	130	10	168	178	48	155
	150	117	14	131	10	165	175	44	151
-----									
	0	143	7	150	180	16	196	46	9
	25	143	7	150	171	17	188	38	10
	50	147	7	154	164	15	179	25	8
TR	75	145	7	152	130	57	187	35	50
	100	142	10	152	76	92	168	16	82
	125	142	7	149	117	57	174	25	50
	150	142	7	149	82	85	167	18	78