

ESTER MARGARET FORTUNA MACZIAK GUAZZELLI

EFEITO DE NITRATO E AMONIO NO CRESCIMENTO,
ASSIMILAÇÃO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO NITRO-
GÊNIO POR CULTIVARES DE FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L.)
NA FASE INICIAL DE CRESCIMENTO

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Lavras, como parte das exi-
gências do Curso de Pós-graduação em Agro-
nomia, área de concentração Solos e Nutrição
de Plantas, para obtenção do grau de "MES-
TRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

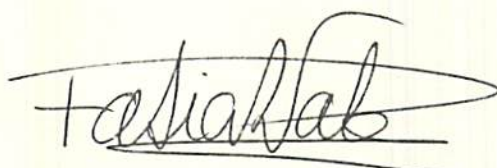
LAVRAS - MINAS GERAIS

1988

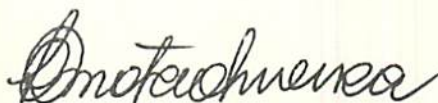
cat
T
635.652894
GUA
efe

EFEITO DE NITRATO E AMÔNIO NO CRESCIMENTO, ASSIMILAÇÃO E EFICIÊN-
CIA DE UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO POR CULTIVARES DE FEIJOEIRO
(*Phaseolus vulgaris*, L.) NA FASE INICIAL DE CRESCIMENTO

APROVADA:



Prof. FABIANO RIBEIRO DO VALE
Orientador



Prof. LUIZ EDSON MOTA DE OLIVEIRA



Prof. MAGNO ANTÔNIO PATTO RAMALHO

*Aos meus pais Pedro e Marlene
e irmãos Beatriz, César e Lisiane*

OFEREÇO

Ao meu esposo Mário

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) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE) pelo apoio financeiro na impressão deste trabalho.

Ao Professor Fabiano Ribeiro do Vale pela orientação e dedicação. E aos Professores Luiz Edson Mota de Oliveira e Magno Patto Ramalho pela colaboração e sugestões.

Aos Professores João Batista Soares da Silva e José Oswaldo Siqueira pela receptividade e ao Professor Mozart Ferreira Martins pela amizade.

A todos os professores, funcionários e colegas do Departamento de Ciência do Solo pelo agradável convívio durante o decorrer do curso.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. O nitrogênio no solo e sua aquisição pelas plantas.	3
2.2. Fixação simbiótica do N_2	5
2.3. Respostas do feijoeiro à adubação nitrogenada	8
2.4. Respostas das plantas a nitrato e amônio	10
2.4.1. Absorção e assimilação de nitrato e amônio .	10
2.4.2. Efeito do amônio na absorção e assimilação do nitrato	14
2.4.3. Nutrição mineral e crescimento das plantas ..	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Experimento I - Resposta das cultivares de feijoeiro a $N-NO_3^-$, na fase inicial de crescimento ...	20
3.2. Experimento II- Efeito do $N-NH_4^+$ no crescimento inicial das cultivares de feijoeiro	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Experimento I	26

4.1.1. Produção de matéria seca, relação de matéria seca raiz/parte aérea (R/P) e área foliar do feijoeiro	26
4.1.2. Partição do nitrogênio total	33
4.1.3. Eficiência de utilização do nitrogênio	43
4.2. Experimento II	46
4.2.1. Produção de matéria seca, relação de matéria seca raiz/parte aérea (R/P) e área foliar ..	46
4.2.2. Partição do nitrogênio total	56
4.2.3. Eficiência de utilização do nitrogênio	66
4.2.4. Composição química	68
5. CONCLUSÕES	74
6. RESUMO	76
7. SUMMARY	78
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
9. APÊNDICE	

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Concentração dos nutrientes utilizados na solução nutritiva de crescimento do feijoeiro para diferentes níveis de nitrogênio, correspondente a força total .	22
2 Concentração dos nutrientes utilizados na solução nutritiva de crescimento do feijoeiro para os diferentes níveis de nitrogênio, correspondente a força total	24
3 N-total na folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nítrico, na fase inicial de crescimento	34
4 Frações do N-total (N reduzido solúvel e N reduzido insolúvel) da folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nítrico, na fase inicial de crescimento	35
5 Acúmulo de N-nítrico na folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nítrico, na fase inicial de crescimento	36

Quadro

Página

6	Concentração de N-total na folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições)	59
7	Frações do N-total (N reduzido solúvel e N reduzido insolúvel) da folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições)	60
8	Frações de nitrogênio total da folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca', submetida a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições)	64
9	Composição química da parte aérea das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições)	69
10	Composição química da raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições)	70

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Efeito do N-nítrico sobre a produção de matéria seca da parte aérea das cultivares de feijoeiro	27
2	Efeito do N-nítrico sobre a produção de matéria seca da raiz das cultivares de feijoeiro	29
3	Efeito do N-nítrico na relação de matéria seca raiz/ parte aérea (R/P) das cultivares de feijoeiro	31
4	Efeito do N-nítrico sobre a área foliar das cultivares de feijoeiro	32
5	Efeito do N-nítrico sobre a concentração de N-total na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca'	38
6	Efeito do N-nítrico sobre a concentração de N-orgânico solúvel na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca'	39
7	Efeito do N-nítrico sobre a concentração de N-insolúvel na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca' ...	40

Figura

Página

8	Efeito do N-nítrico sobre a concentração do N-nítrico na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca'	42
9.	Eficiência de utilização de nitrogênio pelas cultivares de feijoeiro, submetidas a níveis crescentes de N-nítrico na solução nutritiva	44
10	Produção de matéria seca na parte aérea das cultivares de feijoeiro, em função das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N	47
11	Variação de pH na solução nutritiva durante o crescimento da cultivar 'Carioca' em diferentes proporções de amônio/nitrato	50
12	Produção de matéria seca da raiz pelas cultivares de feijoeiro, em função das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N	53
13	Relação de matéria seca raiz/parte aérea (R/P) das cultivares de feijoeiro, em função das proporções de amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4mM N..	55
14	Área foliar das cultivares de feijoeiro, em função das proporções de amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N	57
15	Teor de N-total na folha caule e raiz da cultivar 'Carioca', em função das proporções de amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N	61

Figura

Página

- 16 Efeito das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N sobre o teor de N-orgânico solúvel no caule e raiz da cultivar 'Carioca' 62
- 17 Efeito das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N sobre o teor de N-nítrico na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca' 65
- 18 Eficiência de utilização de nitrogênio pelas culturas de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N 67

1. INTRODUÇÃO

É amplamente reconhecido e comprovado o papel do nitrogênio entre os nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas, fundamentalmente, no que diz respeito ao incremento da produção. Todavia, é discutida a validade da aplicação de nitrogênio para as leguminosas, como é o caso do feijoeiro, uma vez que este nutriente pode ser suprido para elas, pelo menos em parte, através da fixação simbiótica. Porém, estima-se que, para o feijoeiro, a capacidade de suprimento de nitrogênio via fixação simbiótica corresponde a apenas cerca de 20% do nitrogênio necessário. Assim, para uma produtividade adequada, torna-se necessária a aplicação de nitrogênio mineral. Este fato explica, em parte, a frequência das respostas desta cultura à adubação nitrogenada.

Para o cultivo do feijoeiro sem a preocupação específica do suprimento de nitrogênio via fixação, situação mais amplamente encontrada, uma adubação em cobertura é feita normalmente cerca de 25 dias após a germinação. No caso do feijoeiro, cultivado sob o sistema específico de fixação de nitrogênio, tem-se observado um período de estresse entre o esgotamento das reservas

cotiledonares e o início da atividade dos nódulos, podendo, devido ao ciclo curto da cultura, afetar diretamente a produtividade. Este período varia, normalmente, entre os 16 e os 23 dias após a germinação. Desta forma, torna-se importante avaliar a capacidade do feijoeiro em absorver e utilizar o nitrogênio, na fase inicial de crescimento, ou seja, até o início da atividade dos nódulos, ou até a aplicação de nitrogênio em cobertura.

↓ E.U.
Estudos envolvendo a eficiência de uso de nutrientes por plantas têm mostrado que cultivares dentro de uma mesma espécie podem responder diferentemente a um dado nutriente, incluindo-se o nitrogênio. Assim, ao se avaliar a capacidade das cultivares de feijoeiro em usar o nitrogênio, é importante verificar se existe alguma diferença entre elas, com respeito à eficiência de utilização do nitrogênio, que constitui uma das partes da eficiência de uso deste nutriente. No caso específico do nitrogênio, é preciso considerar que as plantas podem absorver este nutriente tanto na forma nítrica quanto amoniacal. Em cultivo no campo, as plantas são expostas a ambas as formas, cujas quantidades e proporções variam com o tempo de cultivo, clima, tipo de solo e adubação.

Finalmente, considerando-se também que as plantas tendem a responder diferentemente às formas minerais de nitrogênio, este estudo objetivou avaliar os efeitos de nitrato e amônio no crescimento, assimilação e eficiência de utilização do nitrogênio por cultivares de feijoeiro, na fase inicial de crescimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O nitrogênio no solo e sua aquisição pelas plantas

O nitrogênio encontra-se no solo tanto sob a forma orgânica quanto mineral, predominando a forma orgânica, que não é prontamente absorvida pelas plantas. Com o processo de mineralização, mediado por certos microorganismos, formam-se inicialmente íons amônio que são prontamente absorvidos. Entretanto, devido ao processo da nitrificação, também mediado por microorganismos, o amônio proveniente da mineralização da matéria orgânica ou da aplicação de fertilizantes amoniacais é rapidamente transformado para nitrato, na maioria das condições, EIRA (36). O nitrito, produto intermediário da nitrificação, acumula-se no solo apenas sob condições bastante específicas, FERNANDES & ROSSIELLO (42); AMARAL SOBRINHO et alii (1).

Assim, as plantas adquirem o nitrogênio mineral de que necessitam basicamente como nitrato ou amônio. O nitrato é considerado a forma predominante de nitrogênio inorgânico na maioria dos solos sob cultivo intenso, CLARKE & BARLEY (26). Entretanto, quando fatores ambientais restringem o processo da nitrificação,

o amônio pode se tornar a forma predominante de nitrogênio para as plantas.

Geralmente, a nitrificação tende a ser inibida em solos ácidos, em solos inundados e a baixas temperaturas no solo, MUNK (101); GASSER (55). Além da possível acumulação sob condições naturais, o amônio pode se acumular no sistema solo, quando os microorganismos nitrificadores têm sua ação específica inibida por substâncias naturais (exsudatos de plantas) ou por substâncias sintéticas (inibidores de nitrificação), SILVA et alii (130).

O nitrato ocorre predominantemente na solução do solo, sendo altamente suscetível a perdas por lixiviação em regiões de alta precipitação e em solos de boa drenagem. Ademais, o nitrato é altamente suscetível a perdas, na forma de gases de nitrogênio, como resultados do processo da desnitrificação em áreas de drenagem deficiente, sob domínio de condições redutoras no solo. Portanto, inibidores da nitrificação podem ser usados para manter o amônio no sistema solo de forma a minimizar essas perdas, HUBER et alii (63). Além das condições de solo, as quantidades e proporções de nitrato e amônio, às quais as raízes das plantas estão expostas, dependem do tipo de fertilizante nitrogenado adicionado ao solo. Atualmente, a maior parte dos fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo, direta ou indiretamente, leva a uma produção acentuada de íons amônio.

Quando as raízes de plantas, crescendo em meio artificial ou no sistema solo, são expostas a diferentes quantidades

e proporções de nitrato e amônio, torna-se uma preocupação constante o efeito dessas duas fontes de nitrogênio na nutrição e crescimento das plantas. Embora a maioria das plantas seja capaz de absorver e utilizar baixas quantidades de amônio tão efetivamente quanto de nitrato, certas espécies são sensíveis ao contínuo suprimento de amônio, BAR-YOSEF & KAFKAFI (6); KIRKBY & MENDEL (77); MAYNARD & BARKER (91). No caso específico do feijoeiro, parece haver uma certa preferência pela forma nítrica, SAHRAWAT & KEENEY (124).

O crescimento do feijoeiro foi altamente afetado, quando o nitrogênio foi suprido na forma amoniacal em comparação com o crescimento de plantas supridas com a forma nítrica, JACKSON et alii (68). Segundo esses autores, o efeito prejudicial do amônio foi grandemente reduzido pela manutenção do pH da solução externa próximo da neutralidade.

2.2. Fixação simbiótica do N_2

As leguminosas podem usar tanto o nitrogênio mineral do solo quanto o nitrogênio proveniente da fixação biológica do N_2 atmosférico. Essas plantas, de um modo geral, têm a capacidade de manter uma simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* e, por intermédio desta simbiose, fixarem o nitrogênio atmosférico.

O feijoeiro, a exemplo de outras leguminosas, apresenta a peculiaridade de fixar o nitrogênio da atmosfera do solo, quando em simbiose com *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*,

embora este processo geralmente seja pouco eficiente em condições de campo. Como a eficiência da fixação do nitrogênio pelo feijoeiro é geralmente baixa, a adubação com nitrogênio é sempre recomendada para atender as exigências da planta, GRAHAM (60) e WESTERMANN et alii (152).

Vários fatores têm sido indicados como limitantes da fixação simbiótica do nitrogênio pelas leguminosas, havendo grande destaque para os fatores do solo. Mesmo que o *Rhizobium* esteja presente no solo, muitas vezes não há o estabelecimento da simbiose, e mesmo quando a simbiose é estabelecida, os resultados podem não ser satisfatórios. A fixação ineficiente do nitrogênio pelo feijoeiro tem sido atribuída às dificuldades de estabelecimento de uma simbiose efetiva no campo e à variabilidade genética tanto do *Rhizobium* quanto do feijoeiro, GRAHAM (60).

Sabe-se que o nitrogênio disponível do solo pode afetar a nodulação e, conseqüentemente, a fixação simbiótica, OSÓRIO & FREIRE (108). Embora o feijoeiro seja uma leguminosa, uma pequena dose de fertilizante nitrogenado pode ser necessária para o crescimento inicial e durante o estágio final de crescimento da cultura, quando a fixação simbiótica de N_2 por *Rhizobium* é inibida, EAGLESHAM et alii (34); WESTERMANN et alii (152). Baixos níveis de nitrogênio presente durante os estádios iniciais de desenvolvimento do feijoeiro têm resultado em aumento na nodulação e fixação, BURTON et alii (21).

A baixa eficiência da fixação simbiótica de nitrogênio

pelo feijoeiro, em condições de campo, pode ser explicada, em parte, por limitações na nutrição mineral do *Rhizobium* e do hospedeiro, entre elas, destacando-se a falta de nitrogênio mineral para o arranque na nodulação e da fixação propriamente dita, PAZ et alii (111). Há relatos sobre os efeitos sinérgicos em feijoeiro, entre a absorção do nitrogênio mineral, fornecido em doses baixas, e a fixação do N_2 , WESTERMANN et alii (152); RUSCHEL et alii (123); HUNGRIA & RUSCHEL (65) e PAZ et alii (112). Esse benefício pode ser devido à utilização do nitrogênio mineral no período entre o esgotamento das reservas cotiledonares e o início da atividade dos nódulos, FÉLIX et alii (39); ou, até mesmo, posteriormente, através da complementação nutricional, FRANCO et alii (44); FÉLIX et alii (39) e PECK & MacDONALD (113).

FRANCO & MUNNS (45) observaram que o feijoeiro, cultivado em condições que tenham como fonte de nitrogênio exclusivamente aquele proveniente da fixação biológica, apresenta sintomas de deficiência deste nutriente na fase inicial do seu desenvolvimento. MYASAKA et alii (104), estudando épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura, verificaram que a nodulação aumentava com o retardamento da adubação nitrogenada; mas o aumento da nodulação não evitou que as plantas sofressem falta de nitrogênio no período em que necessitavam dele em maior quantidade. GUSS & DÖBE REINER (61) e MYASAKA et alii (104), em diferentes condições, concluíram que a simbiose não foi capaz de suprir as necessidades de nitrogênio do feijoeiro.

Nas condições brasileiras, a soja se mostra mais eficiente que o feijoeiro, com respeito à fixação simbiótica do nitrogênio. Estima-se que entre 40 e 50 por cento do nitrogênio necessário à cultura da soja seja fixado biologicamente, FRANCO et alii (44); no caso do feijoeiro, os números devem estar entre 15 e 30 por cento. Isto explicaria, pelo menos em parte, a frequência muito maior das respostas do feijoeiro à adubação nitrogenada, MALAVOLTA (87); EDJE et alii (35); JANSSEN & VITOSH (71); e WILKER & SCARISBRICK (153).

2.3. Respostas do feijoeiro à adubação nitrogenada

Em geral, têm-se obtido respostas do feijoeiro à adubação nitrogenada, embora a frequência e a amplitude da resposta variem de região para região do Brasil. Conforme já ressaltado, o feijoeiro apresenta baixo potencial para a fixação simbiótica de N_2 atmosférico, e a adubação nitrogenada tem proporcionado acréscimos consideráveis no rendimento desta cultura.

Analisando 54 ensaios de adubação nitrogenada do feijoeiro, no Estado de São Paulo, MALAVOLTA (87) concluiu que em 32% dos casos houve resposta ao nutriente aplicado, o que concorda com o resultado encontrado por IGUE (66), que, dentre 50 ensaios, encontrou resposta significativa em 14. MALAVOLTA (87), tomando os dados referentes ao país como um todo, encontrou que houve respostas ao nitrogênio em 29% dos ensaios, de um total de 232. De modo geral, o feijoeiro responde a doses relativamente baixas de ni

trogênio, até 30 kg/ha, como relatado por IGUE (66). Entretanto, em alguns casos, têm-se encontrado respostas a até 50 kg/ha, FEI TOSA et alii (38) e até a 90 kg/ha de nitrogênio, PONS (114).

No Estado de Minas Gerais têm sido obtidas respostas significativas ao nitrogênio mineral, incluindo respostas lineares a até 150 kg/ha de nitrogênio, CARDOSO et alii (23). Num total de 76 experimentos, constatou-se que em 56% deles houve resposta positiva à adubação nitrogenada pelo feijoeiro, FRANÇA et alii (43). Recentemente, SILVA (129) observou que as cultivares de feijoeiro 'Rio Tibagi', 'Eriparza' e 'Carioca' responderam diferentemente à adubação nitrogenada. A cultivar 'Rio Tibagi' apresentou uma resposta linear a até 100 kg/ha de nitrogênio, enquanto que a 'Carioca' mostrou uma resposta quadrática, com máxima produção a 50 kg/ha de nitrogênio. Por sua vez, a cultivar 'Eriparza' não mostrou resposta à adubação nitrogenada.

Experimentos realizados no IAPAR, em diferentes regiões do Paraná, evidenciaram não só respostas à adubação nitrogenada pelas cultivares de feijoeiro testadas, mas também diferenças na magnitude de resposta entre elas nas diferentes regiões estudadas, IAPAR (48) e IAPAR (49).

E, no Estado do Rio Grande do Sul, PONS et alii (115) e GOEPFERT (59) também verificaram aumentos notáveis na produção do feijoeiro, com a aplicação de nitrogênio mineral.

2.4. Respostas das plantas a nitrato e amônio

2.4.1. Absorção e assimilação de nitrato e amônio

X Embora o nitrato seja a fonte nitrogenada predominante na maioria dos solos sob intenso cultivo, estudos detalhados do processo de absorção de nitrato são relativamente recentes. Estudos sobre a regulação do processo de absorção são mais recentes ainda, JACKSON et alii (70).

O processo de absorção de nitrato difere do processo de absorção de outros nutrientes, devido ao fato de que a absorção de nitrato é induzida, JACKSON et alii (69). Isto significa que a absorção de nitrato, por plantas não expostas previamente a este íon, é relativamente baixa em comparação com a taxa de absorção após indução. O período de indução tem sido observado em diversas espécies, inclusive feijoeiro, para o qual observou-se um tempo de indução em torno de seis horas, BRETELER et alii (15).

→ Embora, ao que tudo indica, a absorção de ambos, nitrato e amônio, seja mediada por transportadores, a absorção de nitrato é feita contra um gradiente de potencial eletro-químico. A absorção de amônio, por outro lado, é geralmente menos dependente de energia, FERNANDES & ROSSIELLO (41).

→ Uma vez absorvido, o nitrato precisa ser reduzido antes do processo de assimilação em aminoácidos e outros compostos orgânicos. Inicialmente, o nitrato é reduzido para nitrito numa reação mediada pela enzima redutase de nitrato e, subseqüentemente,

para amônio, mediada pela enzima redutase de nitrito, BEEVERS & HAGEMAN (7). O processo da redução pode ocorrer tanto nas raízes, quanto nas folhas, cuja predominância na raiz ou na parte aérea é altamente dependente da espécie vegetal.

O processo de redução de nitrato, à semelhança do processo de absorção, também é induzido. XDevido a essa constatação, pensou-se inicialmente que uma mesma entidade na membrana das células da raiz seria responsável pelo processo de absorção e redução, BUTZ & JACKSON (22). Entretanto, diversas evidências são apresentadas contra essa proposição inicial, inclusive para o feijoeiro. A taxa de absorção de nitrato atingiu o máximo valor após 6 horas de exposição do feijoeiro a nitrato, enquanto a atividade da redutase de nitrato medida "in vivo" continuou a aumentar até 15 horas após a exposição, BRETELER et alii (15). A resposta desses dois processos à presença de nitrito na solução externa é marcadamente diferente, pois o nitrato constitui-se em potente inibidor da redutase do nitrato sem afetar, contudo, a taxa de absorção de nitrato, BRETELER & LUCZAK (16). Também, a resposta à presença do próprio nitrato é bem distinta, sendo a atividade da redutase de nitrato constante entre 100 μ M e 5 mM nitrato, enquanto a taxa de absorção apresenta-se com padrão multifásico, BRETELER & NISSEN (17).

Sabe-se, desde as investigações de MAZE (90) e MUNTZ (103), que as plantas são capazes de utilizar tanto nitrato, quanto amônio. Estudos envolvendo especificamente o processo de absorção de amônio e de sua regulação são ainda menos frequentes, quan

do comparados com os do nitrato. Dado a similaridades físicas e químicas entre o íon amônio e potássio, diversos autores defendem a idéia de que esses dois íons são absorvidos pelo mesmo sistema de carregadores, SMITH & EPSTEIN (133). Obviamente, tal proposição baseia-se apenas nas similaridades entre o padrão de absorção desses dois íons.

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 desnitrificação. Entretanto, certas espécies de plantas são sensíveis ao constante suprimento de amônio, BAR-YOSEF & KAFKAFI (6), KIRKBY & MENGEL (77). Segundo BARKER et alii (5) e MAYNARD & BARKER (91), o feijoeiro é bastante sensível ao suprimento contínuo de apenas amônio como fonte de nitrogênio.

O amônio é tóxico às plantas, mesmo em concentrações relativamente pequenas, causando disrupção das membranas e interfere rindo com sistemas metabólicos, que dependem da geração e manutenção de gradientes de potencial elétrico. A nutrição predominantemente amoniacal interfere marcadamente nas relações hídricas das plantas, causando restrições ao fluxo de água na planta e, consequentemente, deficit hídrico em espécies sensíveis, RAGAB (118), MAGALHÃES & WILCOX (86) e SILVA et alii (130). A redução no crescimento das plantas supridas com amônio como fonte de nitrogênio tem sido atribuída também a efeitos combinados de acidificação da rizosfera, dado ao maior influxo de cátions, comparado ao influxo

de ânions, KIRKBY & MENGEL (77) e ao acúmulo tóxico de amônio livre ou amônia nos tecidos das plantas, PURITCH & BARKER (116) e VINES & WEDDING (145). O decréscimo de pH "per si" pode afetar o crescimento das plantas, principalmente devido à alteração da permeabilidade da plasmalema, BARKER et alii (5). Assim, espera-se que em solos com maior poder tampão para íons hidrogeniônicos, o suprimento de amônio não seja tão prejudicial.

A absorção de nitrato e amônio parece sofrer grande influência do pH da solução do solo. A absorção de amônio aumenta com o aumento do pH, enquanto a de nitrato tende a decrescer, VAN DER HONERT & HOOYMANS (144). RAO & RAINS (119) sugerem que a diminuição na absorção de nitrato a elevados valores de pH pode ser devida ao efeito competitivo com íons OH^- .

MICHAEL et alii (96), estudando a absorção de nitrogênio na forma de amônio e nitrato por várias espécies de plantas, encontraram que as duas formas de nitrogênio foram igualmente absorvidas a pH 6,8. Entretanto, a pH 4,0, a absorção de nitrato foi consideravelmente maior do que a de amônio. E a absorção de amônio por unidade de volume de raiz foi reduzida, segundo TOLLEY-HENRY & RAPER JR (138), quando o pH da solução diminuiu de 6,1 para 5,1, ocorrendo a redução no crescimento da soja.

Entretanto, McELHANNON & MILLS (93) encontraram resultados diferentes dos anteriores em *Phaseolus lunatus*, L. O pH da solução não pareceu ter influência na absorção de nitrato e amônio. A absorção de nitrato, quando havia somente nitrato na solução,

ocorreu em valores de pH de 3,5 a 7,5. E, embora a absorção de amônio geralmente resultasse num decréscimo do pH da solução, o pH aparentemente não influenciou a absorção de amônio.

2.4.2. Efeito do amônio na absorção e assimilação do nitrato

Ressaltou-se, inicialmente, que as plantas em condições naturais são continuamente supridas com ambas as formas de nitrogênio inorgânico, sendo que as quantidades e proporções de nitrato e amônio são dependentes de condições ambientais, práticas de cultivo e fertilização. Quando ambas as formas de nitrogênio estão presentes no meio de absorção, o amônio parece constituir-se num potente inibidor da absorção e redução de nitrato, FRIED et alii (46); MINOTTI et alii (98); PAN et alii (110).

Embora o nitrato, mesmo em concentrações elevadas, não interfira significativamente com a absorção de amônio, o amônio interfere significativamente com a absorção de nitrato, FERNANDES (40). Muitos trabalhos têm mostrado que o amônio diminui a absorção de nitrato, BRETELER & SIEGERIST (18); LYCKLAMA (84); PAN et alii (110) e RUFTY et alii (121), embora outros não tenham encontrado tal efeito, OAKS et alii (106) e SCHRADER et alii (126). Certas gramíneas, quando expostas a doses equimolares de nitrato e amônio, absorvem inicialmente apenas o amônio, só iniciando a absorção de nitrato, quando os níveis externos de amônio são consideravelmente reduzidos, FERNANDES & ROSSIELLO (41).

A inibição da absorção de nitrato por amônio pode envolver diversos mecanismos. Segundo MINOTTI et alii (99), a liberação de íons H^+ após acentuada absorção de amônio poderia deslocar íons Ca^{+2} da superfície externa da plasmalema e, por conseguinte, alterar a permeabilidade da membrana para o nitrato. Foi sugerido também que o amônio pode alterar a taxa de ativação ou de síntese do sistema de absorção de nitrato. DODDEMA et alii (31); MaCKOWN et alii (85) ou da redutase de nitrato, RADIN (117).

A inibição da absorção de nitrato por amônio parece ser mais severa quando a concentração de carboidratos solúveis na raiz ou a taxa de transporte de fotoassimilados para o sistema radicular é baixa, JACKSON (67). A inibição da redução de nitrato pelo amônio tem sido observada em diversas espécies de plantas. Observou-se que macieiras crescidas em solução nutritiva contendo nitrato e amônio apresentam menor atividade da redutase de nitrato do que aquelas crescidas em solução contendo apenas nitrato, FRITH (47). Em feijoeiro, a presença de amônio reduziu a absorção e redução de nitrato em 45 e 60 por cento, respectivamente, BRETELER & SIEGERIST (18).

×BRETELER & SMIT (19) sustentam que não há nenhuma evidência conclusiva de que um único fator seja responsável pela inibição de amônio sobre a redução de nitrato em plantas. Eles sugerem que alterações no potencial redox nas células estão envolvidas. A inibição na atividade da redutase de nitrato no sistema radicular restringiria a absorção de nitrato, pela limitação na geração de

grupos hidroxilas adicionais para troca com nitrato da solução externa, KIRKBY (75).

2.4.3. Nutrição mineral e crescimento das plantas

Muitas espécies de plantas supridas apenas com amônio como fonte de nitrogênio não crescem tão bem como quando supridas com semelhante quantidade de nitrogênio na forma de nitrato, KIRKBY (75) e KIRKBY & MENGEL (77). A rápida assimilação de amônio pode afetar seriamente o crescimento, a menos que a planta tenha um elevado suprimento de carboidratos, KIRKBY & HUGHES (76).

Vários experimentos com um grande número de espécies de plantas, comparando a nutrição nítrica e amoniacal, têm mostrado que a forma de nitrogênio exerce um efeito pronunciado sobre a composição química da planta, afetando o balanço global de cátions e ânions. Com a nutrição predominantemente amoniacal, a absorção de cátions é maior do que a absorção de ânions, enquanto que com a predominância de nitrato, a situação tende a ser inversa. O domínio de amônio sobre nitrato, na solução, tem resultado em aumentos nos níveis de P e S nas plantas e decréscimos em Ca, Mg e K, GASHAW & MUGWIRA (54). DIBB & WELCH (30) encontraram que plantas de milho supridas predominantemente com amônio mostraram redução de absorção de apenas potássio, o que resultou em decréscimo no crescimento. Na verdade, tem-se observado grande competição na absorção entre amônio e potássio, fazendo com que, em alguns casos, o potássio, em maiores concentrações na solução externa, se

ja utilizado para prevenir os efeitos tóxicos do amônio, BARKER et alii (5), MAYNARD et alii (92) e LUISI et alii (83).

Na verdade, maiores taxas de crescimento das plantas têm sido observadas com o suprimento de ambas as formas de nitrogênio, WARNCKE & BARBER (150) e REISENAUER (120). O efeito benéfico do suprimento de ambas as formas de nitrogênio não é bem entendido. Provavelmente, pode estar associado a uma melhor conservação de energia, COX & REISENAUER (28) ou a um balanço mais adequado de cátions e ânions na planta, KIRKBY (74).

A eficiência das duas formas de nitrogênio, amônio e nitrato, sobre o crescimento das plantas, parece variar com a proporção entre as formas e a espécie vegetal. Por exemplo, o suprimento de nitrogênio em solução inteiramente como amônio ou nitrato tem-se mostrado prejudicial ao crescimento da planta, quando comparado ao crescimento em soluções contendo 25% de uma das formas ou 50% de cada forma, NITTLER & KENNY (105) e SCHRADER et alii (126). NITTLER & KENNY (105) encontraram também que cultivares de azevém responderam diferentemente para diferentes percentagens de amônio/nitrato.

Estudos com trigo e milho, segundo BELOW & GENTRY (9), mostraram que as plantas que receberam uma mistura de nitrato e amônio, na proporção 50/50, absorveram mais N, P e K do que aquelas plantas que receberam somente nitrato. As plantas de trigo que cresceram com a mistura das fontes de nitrogênio também produziram mais matéria seca total e apresentaram um aumento de 30 por

cento na relação parte aérea/raiz. Grande parte do aumento da matéria seca foi atribuída a um maior número de perfilhos sobre o crescimento das plantas com a mistura das fontes de nitrogênio. Esse estudo, no caso do trigo, também mostrou que a resposta à forma de nitrogênio é geneticamente dependente.

McELHANNON & MILLS (93), num estudo sobre a influência da relação nitrato/amônio no crescimento de *Phaseolus lunatus* L., encontraram que este foi sensível ao íon amônio, conforme evidenciado no peso seco, quando o nitrogênio foi suprido em 50% ou mais como amônio. A área foliar foi reduzida significativamente para todas as concentrações de nitrogênio, quando 50% do nitrogênio foi suprido na forma de amônio e a intensidade desta redução na área foliar aumentou com o acréscimo no suprimento de amônio. Já as raízes de *Phaseolus lunatus*, L. pareceram ser mais tolerantes à alta concentração de amônio, quando comparadas à parte aérea da planta. O peso seco das raízes foi geralmente maior com 50% ou mais do nitrogênio suprido como nitrato e menor com 100% de amônio. Entretanto, as raízes mostraram-se engrossadas e disformes em todas as concentrações, quando o nitrogênio foi suprido em 25% ou mais na forma de amônio. O grau de alteração na morfologia das raízes aumentou com o acréscimo da percentagem de amônio na solução de crescimento.

Aparentemente, os efeitos da variação das proporções das duas formas de nitrogênio sobre as plantas depende também do estágio de crescimento, pois tem sido determinado que a preferência

por uma ou outra forma de nitrogênio pelas plantas pode mudar nos diferentes estágios de crescimento, BELOW & GENTRY (9); MICHAEL et alii (97), UESATO (142) e McELHANNON & MILLS (93). Segundo SPRATT (134), plântulas de trigo absorveram mais amônio do que nitrato da solução do solo, contendo ambas as formas de nitrogênio; entretanto, nos estágios mais avançados de desenvolvimento, esta tendência foi revertida, com o nitrato sendo preferencialmente absorvido. BLACQUIÈRE et alii (11) também constataram que a taxa de crescimento relativo em *Plantago lanceolata* e *Plantago major* variou com a mudança da forma de nitrogênio, em função do tempo. Inicialmente, a taxa de crescimento relativo foi maior com o suprimento de nitrato como fonte de nitrogênio. Porém, após 38 dias, a maior taxa de crescimento relativo foi obtida com o suprimento de amônio do que com o de nitrato.

As plantas, crescendo no solo, são usualmente expostas tanto a amônio, quanto a nitrato. As quantidades e proporções variam substancialmente com o tempo, tipo de solo e práticas de fertilização. Uma avaliação da resposta das plantas a nitrogênio, nessas condições, requer um entendimento da eficiência de uso deste nutriente, quando diferentes espécies de plantas ou, mais especificamente, diferentes genótipos de uma mesma espécie forem supridos com diferentes proporções de amônio e nitrato.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Experimento I - Resposta das cultivares de feijoeiro a $N-NO_3^-$, na fase inicial de crescimento

Um dos objetivos deste experimento foi o de definir, na solução nutritiva, um nível de nitrogênio adequado para estudos posteriores (Experimento II), envolvendo a presença de ambas as formas de nitrogênio mineral.

Neste estudo, foram utilizadas as seguintes cultivares de feijoeiro: 'Eriparza', com ciclo de 60 a 70 dias e hábito de crescimento determinado; 'Rio Tibagi', com ciclo de 80 a 90 dias e hábito de crescimento indeterminado guia curta, e 'Carioca', também com ciclo de 80 a 90 dias, mas hábito de crescimento indeterminado guia longa. A escolha destas deveu-se a estudos paralelos com estas cultivares, a nível de campo, com enfoque para respostas à adubação nitrogenada.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos distribuídos num arranjo fatorial 5 x 3 (5 níveis de $N-NO_3^-$ e 3 cultivares) com três repetições. Todos os dados deste experimento foram submetidos à Análise de Va

riância.

Sementes das cultivares 'Eriparza', 'Rio Tibagi' e 'Carioca', provenientes de uma mesma planta e previamente testadas para verificar se eram homozigóticas, foram desinfectadas com etanol 70% (3 min), hipoclorito de sódio a 1% (3 min) e ácido clorídrico 0,01N (2 min) e postas para germinar em rolos de papel de germinação umedecidos por capilaridade com CaSO_4 0,5 mM, à temperatura ambiente.

Após sete dias, as plantas selecionadas foram transferidas para a casa de vegetação e colocadas em vasos de 1,6 l (1 planta/vaso), contendo solução nutritiva de crescimento (Quadro 1) com meia força, apresentando cinco diferentes níveis de N-NO_3^- , onde permaneceram por oito dias. Os níveis 0, 1, 2, 4 e 8 mM de N-NO_3^- foram utilizados por estarem na faixa de variação de nitrato próxima da encontrada na solução de solos da Região Sul de Minas Gerais, cuja concentração varia de 0,7 a 6,9 mM (VALE*). Após os oito dias, as plantas foram transferidas para solução de crescimento com força total, procedendo-se a nova troca após 10 dias. Durante todo esse tempo, o pH da solução de crescimento foi mantido em $6,0 \pm 0,5$, através do uso de HCl 0,1N para os tratamentos 1 a 4 e de H_2SO_4 0,1N para o tratamento 5, objetivando-se um acréscimo de $\text{S-SO}_4^{=}$ neste último. Também durante o período de crescimento, a aeração da solução foi contínua e adicionou-se água destilada aos vasos, conforme as exigências para manutenção de volume constante.

* VALE, F.R. Professor Adjunto IV. Depto. Solos, ESAL. 1988. (Informação pessoal).

QUADRO 1 - Concentração dos nutrientes utilizados na solução nutritiva de crescimento do feijoeiro para diferentes níveis de nitrogênio, correspondente a força total.

Níveis	1	2	3	4	5
Elemento	Concentração mM				
N-NO ₃ ⁻	0,0	1,0	2,0	4,0	8,0
P	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
K	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Ca	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Mg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
S	5,0	4,5	4,0	3,0	1,0

* As concentrações de micronutrientes foram (µg/ml): B= 0,40; Cu= 0,016; Fe = 2,0; Mn= 0,40; Zn= 0,04 e Mo= 0,008. Os sais que forneceram os macronutrientes foram: KNO₃, Ca(NO₃)₂, Ca(H₂PO₄)₂, K₂SO₄, CaSO₄ e MgSO₄.

Após 22 dias de cultivo, as plantas foram removidas da solução, as raízes lavadas com água destilada, e transferidas para solução de CaSO₄ 0,5 mM, onde permaneceram por cinco minutos. Neste período, foi feita a retirada de discos das folhas, para os quais determinou-se o peso seco, visando o cálculo da área foliar, que foi estimada através da relação obtida para o peso seco dos discos, a área dos discos e o peso seco total das folhas.

O material vegetal separado em raiz, caule e folha foi seco em estufa com circulação de ar a 70°C, até atingir peso constante, realizando-se, após, a pesagem da matéria seca. A matéria seca correspondente a cada uma das partes foi moída em penei

ra de 40 mesh, ficando o material armazenado em frascos de vidro, até o momento das determinações químicas.

O teor de N-total (a) foi determinado pelo método semi-micro Kjeldahl segundo LIAO (82), com a destilação e titulação sendo feita segundo BREMNER & EDWARDS (14). O N-solúvel (b) foi determinado de forma similar ao N-total e inclui todos os compostos nitrogenados extraídos do tecido seco com água destilada a 70°C, durante 45 minutos. O N-NO₃⁻ foi extraído em água a 45°C, por uma hora, e dosado colorimetricamente por nitração do ácido salicílico, CATALDO et alii (24). Os teores de N-orgânico solúvel (aminoácidos, amins, amidas e proteínas solúveis em água) foram obtidos pela diferença entre (b) e (c). O N-insolúvel foi calculado pela diferença entre (a) e (b).

A eficiência de utilização de nitrogênio pelas diferentes cultivares de feijoeiro, quando submetidas a diferentes níveis de N-NO₃⁻, foi calculada segundo modelo proposto por SIDDIQI & GLASS (128). Basicamente ^{→ fazendo} fez-se uso da expressão $E = W^2/Q$, sendo E = eficiência de utilização; W = peso seco e Q = quantidade do nutriente no tecido.

3.2. Experimento II - Efeito do N-NH₄⁺ no crescimento inicial das cultivares de feijoeiro

Com base no experimento I, diferentes proporções entre amônio/nitrato foram estabelecidas, considerando-se como ideal para crescimento do feijoeiro, nas condições daquele experimento, o

nível de 4 mM N-NO_3^- .

O delineamento experimental assim como as condições de desinfecção e germinação das sementes foram idênticas às do experimento I. Todos os dados também foram submetidos à Análise de Variância.

Após sete dias, as plantas selecionadas foram transferidas para vasos de 1,6 l (1 planta/vaso), contendo solução nutritiva de crescimento (Quadro 2), com todos os nutrientes reduzidos à

QUADRO 2 - Concentração dos nutrientes utilizados na solução nutritiva de crescimento do feijoeiro para os diferentes níveis de nitrogênio, correspondente a força total.

Níveis Elemento	1	2	3	4	5
	Concentração mM				
N-NO_3^-	4,0	3,0	2,0	1,0	0,0
N-NH_4^+	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0
P	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
K	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Ca	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Mg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
S	0,8	1,8	4,8	3,8	8,8

* As concentrações de micronutrientes foram ($\mu\text{g/ml}$): B = 0,40; Cu = 0,016; Fe = 2,0; Mn = 0,40; Zn = 0,04 e Mo = 0,008. Os sais que forneceram os macronutrientes foram: KNO_3 , $\text{Ca(NO}_3)_2$, $\text{Ca(H}_2\text{PO}_4)_2$, K_2SO_4 , CaSO_4 , MgSO_4 e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

metade da concentração, exceto o nitrogênio. Com oito dias de

permanência nestas soluções, as plantas foram transferidas para solução com força total, procedendo-se a nova troca após dez dias. Durante todo o tempo de exposição às soluções com diferentes níveis de nitrogênio, o pH destas foi mantido em $6,0 \pm 0,5$, através do uso de HCl 0,1N ou NaOH 0,1N, conforme a necessidade de se elevar ou abaixar o pH. Ainda, durante o período de crescimento, a aeração foi mantida constante assim como o volume de solução, através da adição de água destilada aos vasos.

Após 23 dias de cultivo, as plantas foram removidas da solução, as raízes lavadas com água destilada, e transferidas para solução de CaSO_4 0,5 mM, onde permaneceram por 5 minutos. Para determinação da área foliar, peso seco, fracionamento do nitrogênio e da eficiência de utilização do nitrogênio, procedeu-se de forma idêntica àquela descrita no experimento I.

No extrato obtido por digestão nitroperclórica, foram dosados os teores totais de P por colorimetria, de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, de K por fotometria de emissão de chama, e de S-total por turbidimetria, segundo BLANCHARD et alii (13).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento I

4.1.1. Produção de matéria seca, relação de matéria seca raiz/parte aérea (R/P) e área foliar

Observa-se no Quadro 1A que houve diferença altamente significativa entre as cultivares estudadas para os níveis de nitrato, bem como para a interação dos níveis com as cultivares, para a produção de matéria seca, tanto da parte aérea quanto da raiz, para a relação R/P e para a área foliar.

Na Figura 1, observa-se um aumento progressivo da produção de biomassa da parte aérea com o aumento na concentração de nitrogênio até 4,0 mM de $N-NO_3^-$, enquanto que acima deste nível observa-se certa tendência de redução nesta produção. Deve-se ressaltar, todavia, que houve diferença na magnitude de resposta das cultivares ao nitrato. A cultivar 'Rio Tibagi' mostrou-se menos responsiva que as outras duas.

Houve também acentuado aumento na produção de matéria seca do sistema radicular das diferentes cultivares de feijoeiro

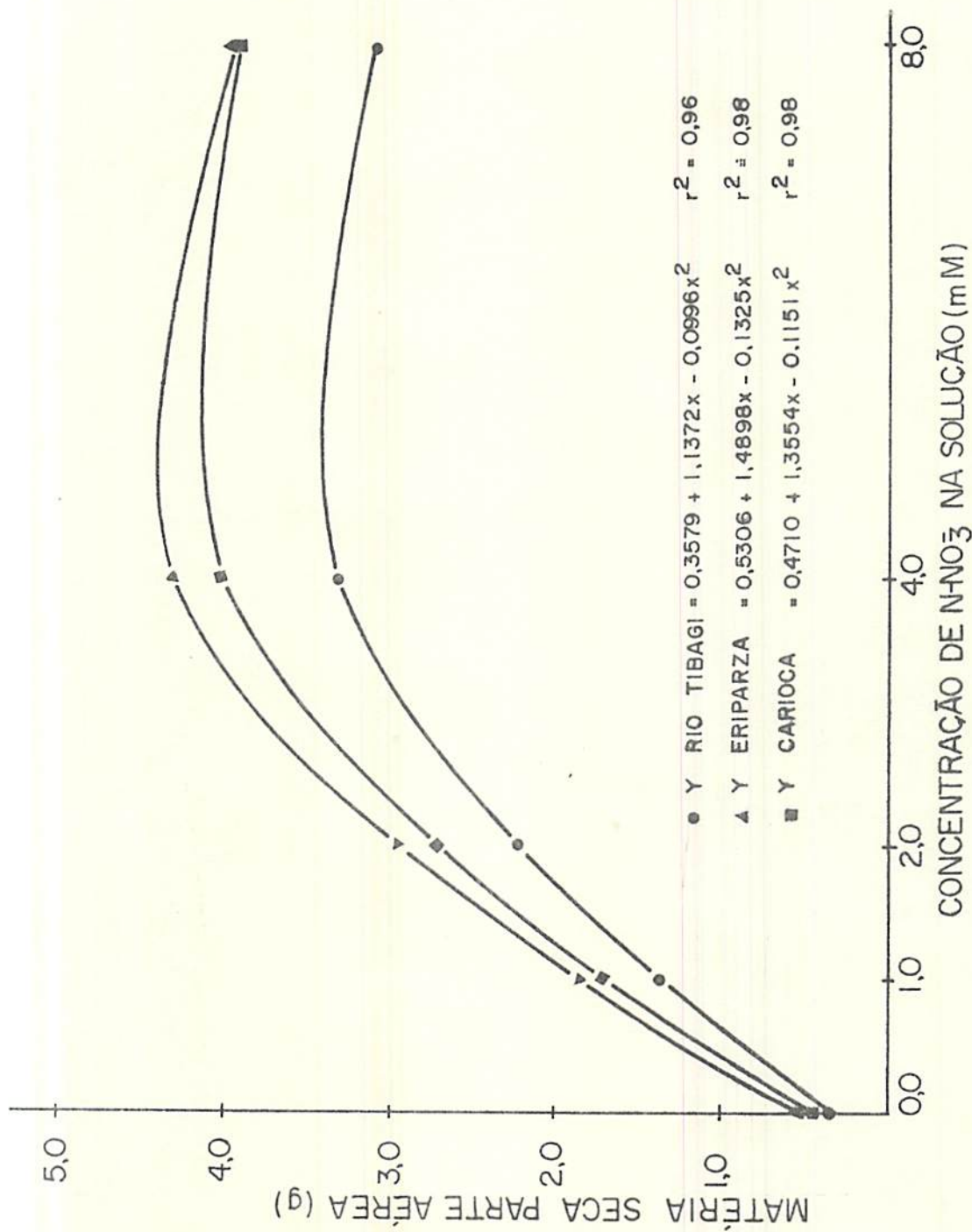


FIGURA 1 - Efeito do N-nítrico sobre a produção de matéria seca da parte aérea das cultivares de feijoeiro.

com o aumento na disponibilidade de nitrato na solução nutritiva. (Figura 2). Ressalta-se, entretanto, que a produção máxima de raiz requereu menores concentrações de nitrato do que as exigidas para a produção na parte aérea. Exceção se faz para a cultivar 'Carioca' que respondeu à adição de até 4,0 mM N-NO₃⁻. Assim como para a parte aérea, houve diferenciação na magnitude de resposta das raízes ao aumento de suprimento do nitrato. A baixas concentrações de nitrogênio, a cultivar 'Eriparza' mostrou maior produção de raiz que as demais, enquanto que, com maior suprimento de nitrogênio, a cultivar 'Carioca' suplantou tanto a 'Eriparza' quanto a 'Rio Tibagi'.

Os resultados encontrados para a produção de biomassa estão de acordo com os obtidos por CHAN & MACKENZIE (25), que observaram grande efeito do nitrogênio na fase vegetativa de crescimento do milho.

Vários trabalhos têm mostrado acentuada resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada. Estudando o efeito de níveis de nitrogênio (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg N/ha) em feijoeiro, fornecido como sulfato de amônio, EDJE et alii (35) observaram um efeito quadrático do nitrogênio na produção de matéria seca, com decréscimo na produção acima de 160 kg N/ha. A produção de grãos correlacionou significativamente com a produção de matéria seca. Tal correlação também foi observada por GARCIA (53), COLASANTE & COSTA (27) e MELGES (94). Apesar do uso de fonte amoniacal, deve-se ressaltar que o amônio no solo tende a se transformar rapi

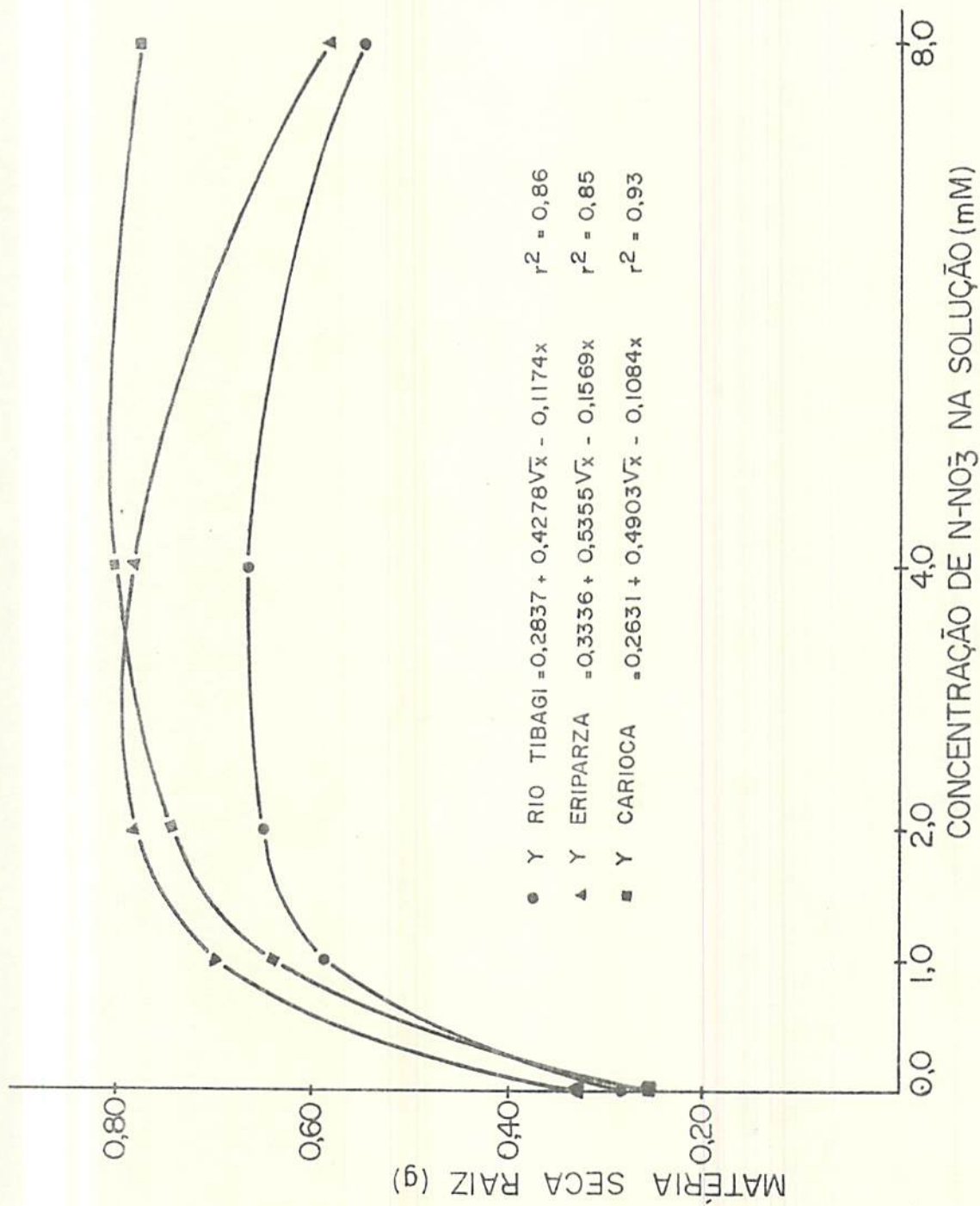


FIGURA 2 - Efeito do N-nítrico sobre a produção de matéria seca da raiz das cultivares de feijoei

damente em nitrato. Mesmo em solo, a resposta a nitrogênio nítrico, aplicado na forma de salitre do Chile, também tem sido constatada, CARDOSO et alii (23).

A Figura 3 mostra a variação da relação R/P das cultivares de feijoeiro, quando submetidas aos diferentes níveis de nitrato. Com a disponibilidade de nitrogênio caindo abaixo de 2,0 mM $N-NO_3^-$, observa-se acentuado aumento na relação R/P. Há muito, sabe-se que a raiz cresce mais em relação à parte aérea quando as plantas são cultivadas sob baixa disponibilidade de nutrientes, CRIST & STOUT (29). Os nutrientes que mais afetam a relação R/P são o nitrogênio e o fósforo, WAREING & PATRICK (149). Segundo KUIPER (80), espécies e até mesmo cultivares de uma mesma espécie diferem na magnitude de resposta a um suprimento inadequado de nutrientes, com respeito à relação R/P. Todavia, no presente estudo, as três cultivares não mostraram grande diferença na magnitude de variação desta relação. Apenas na ausência de nitrogênio externo, nota-se maior tendência de diferenciação entre as cultivares.

Então, um baixo suprimento de nitrogênio durante a fase inicial de desenvolvimento das plantas, sem comprometimento da produção da parte aérea, pode significar importante estratégia de promover maior proliferação do sistema radicular, o que provavelmente resultará em maior aquisição de nutrientes e água.

Na Figura 4, observou-se que o aumento no suprimento de nitrato também resulta em acentuado aumento na área foliar das di

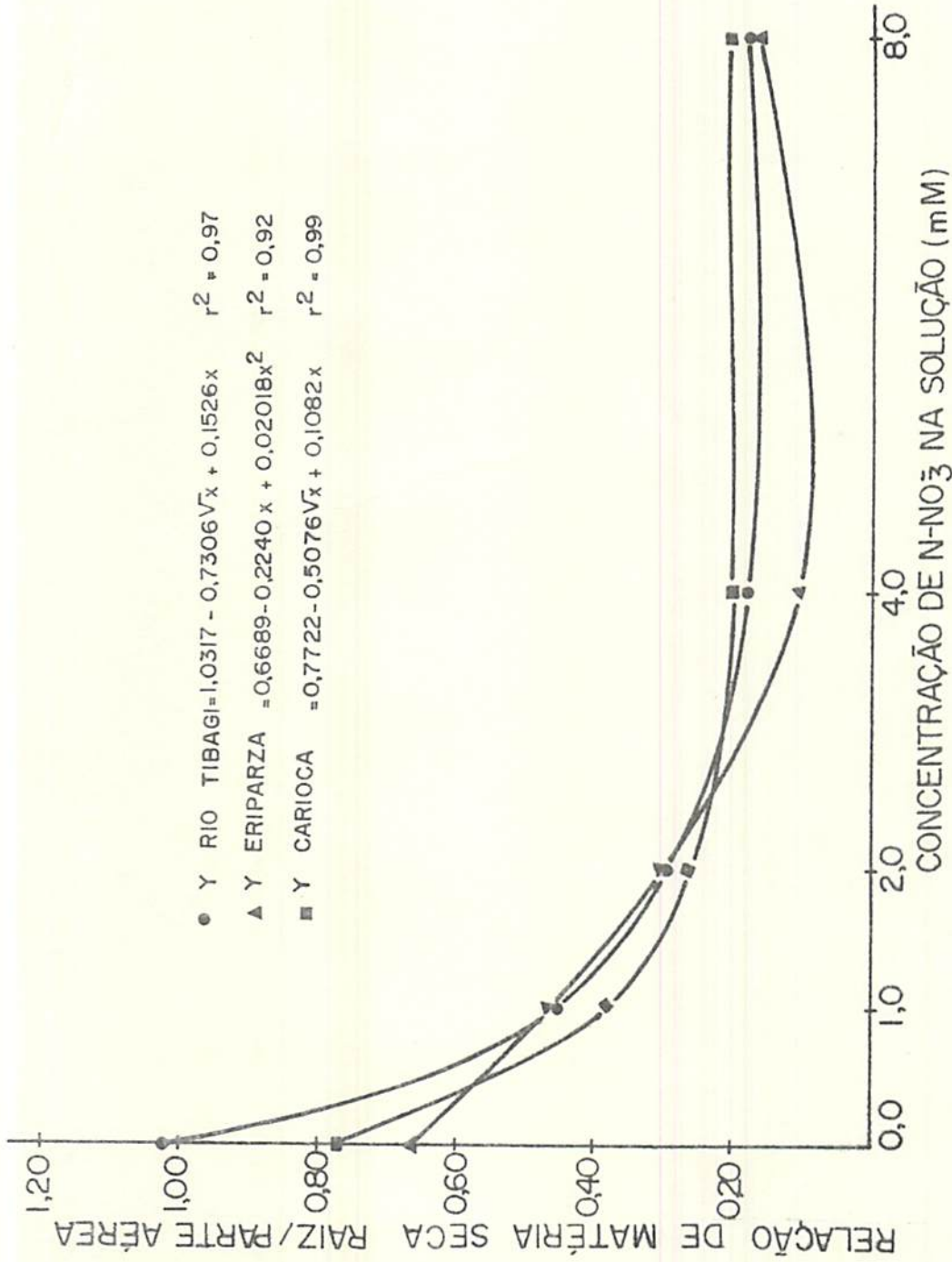


FIGURA 3 - Efeito do N-nítrico na relação de matéria seca raiz/parte aérea (R/P) das cultivares de feijoeiro.

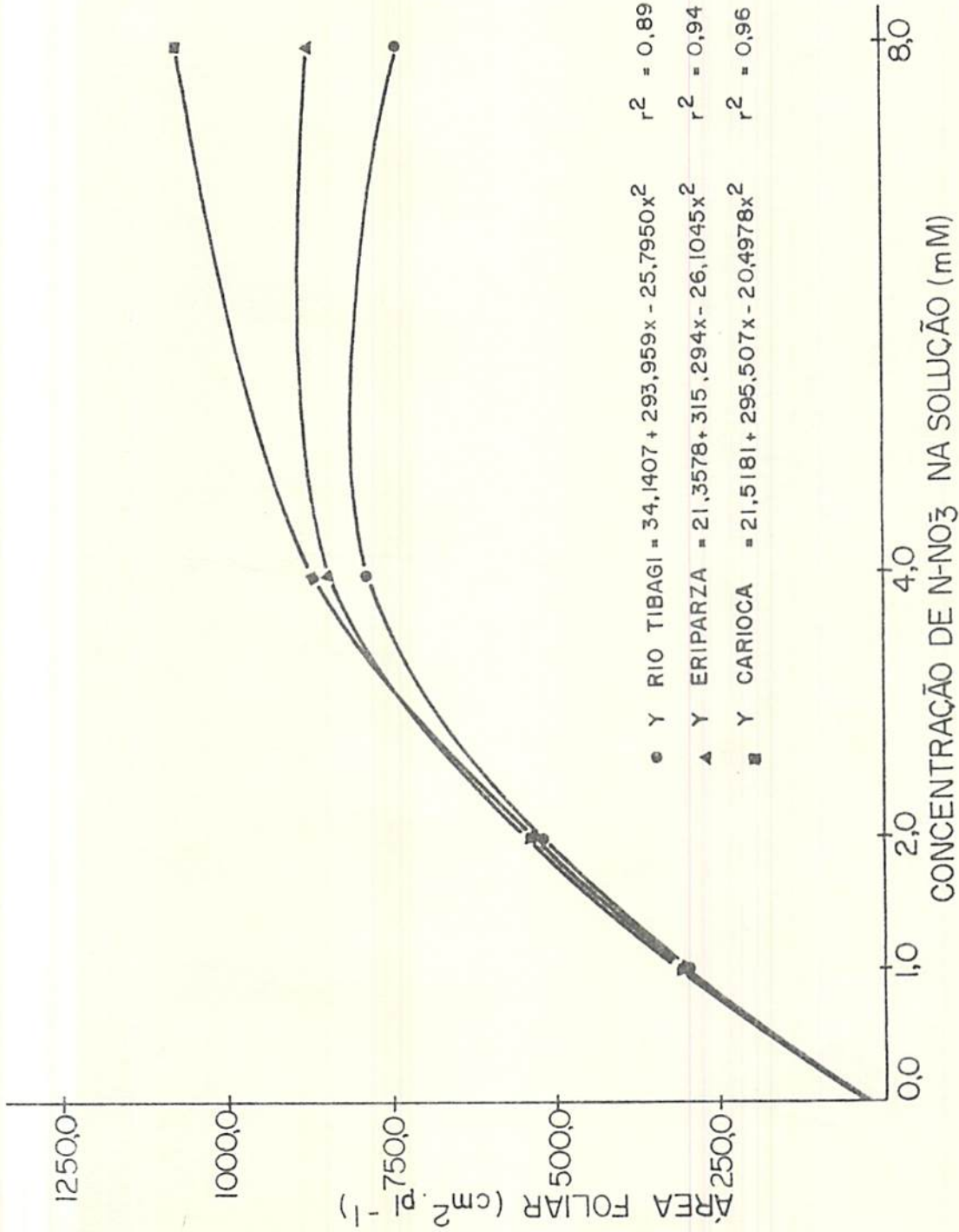


FIGURA 4 - Efeito do N-nítrico sobre a área foliar das cultivares de feijoeiro.

ferentes cultivares, notadamente até 4,0 mM N-NO₃⁻. À exceção da cultivar 'Carioca', a área foliar tendeu a diminuir com a elevação do nitrogênio para 8,0 mM N-NO₃⁻. Este mesmo comportamento foi observado para a produção de biomassa no sistema radicular (Figura 2).

A queda na produção de biomassa em baixos níveis de nitrogênio pode ser devida tanto à queda na taxa fotossintética, ANDREEVA et alii (3), quanto à redução da área foliar, WATSON(151), embora este último autor tenha encontrado que o nitrogênio afetou mais a área foliar do que a taxa assimilatória líquida.

4.1.2. Partição do nitrogênio total

Observa-se nos Quadros 2A, 3A e 4A que houve diferença altamente significativa entre as cultivares estudadas para os níveis de nitrato, bem como para a interação dos níveis com as cultivares, para os teores de N-total, N-nítrico, N-orgânico solúvel e N-insolúvel na folha, caule e raiz.

Os teores de nitrogênio total, nitrogênio reduzido e nitrogênio nítrico nas diferentes partes das cultivares de feijoeiro são apresentados nos Quadros 3, 4 e 5, respectivamente. Embora a interação cultivares x níveis tenha sido significativa, o comportamento das três cultivares de feijoeiro foi semelhante quanto à partição do nitrogênio total. Desta forma, optou-se pela apresentação e discussão dos dados referentes à cultivar 'Carioca', que é a mais cultivada dentre as citadas.

QUADRO 3 - N-total na folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nítrico, na fase inicial de crescimento (média de três repetições).

Partes da planta	Níveis N-NO ₃ ⁻ (mM)	N-total (mg N.g ⁻¹ m.s.)		
		'Rio Tibagi'	'Eriparza'	'Carioca'
Folha	0,0	16,40	18,50	17,10
	1,0	35,95	25,73	23,70
	2,0	38,23	32,33	36,17
	4,0	43,17	33,53	33,53
	8,0	44,37	38,07	46,33
Caule	0,0	7,20	6,40	6,40
	1,0	13,73	15,53	14,27
	2,0	16,07	19,13	15,33
	4,0	22,37	22,07	22,53
	8,0	22,80	24,00	27,77
Raiz	0,0	14,00	13,20	14,00
	1,0	22,93	23,47	22,40
	2,0	34,60	27,33	28,60
	4,0	40,33	38,20	37,27
	8,0	37,40	40,07	44,13

QUADRO 4 - Frações do N-total (N reduzido solúvel e N reduzido insolúvel) da folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nítrico, na fase inicial de crescimento (média de três repetições).

Cultivares	Níveis N-NO ₃ (mM)	Nitrogênio reduzido (mg N.g ⁻¹ m.s.)					
		solúvel			insolúvel		
		folha	caule	raiz	folha	caule	raiz
'Rio Tibagi'	0,0	6,66	2,34	2,67	9,60	4,80	11,30
	1,0	7,43	4,68	4,80	28,37	8,87	17,77
	2,0	8,35	7,30	8,59	29,70	8,57	25,20
	4,0	9,21	7,95	10,57	33,77	14,13	38,77
	8,0	9,78	8,66	6,20	36,40	13,53	30,03
'Eriparza'	0,0	5,36	2,90	2,97	13,00	3,40	10,20
	1,0	7,16	4,49	4,37	18,37	10,87	18,97
	2,0	8,55	5,62	5,37	23,60	13,30	21,60
	4,0	9,23	7,01	9,74	24,20	14,77	27,27
	8,0	10,14	7,82	9,96	27,70	15,80	28,93
'Carioca'	0,0	4,44	2,63	2,48	12,50	3,70	11,50
	1,0	6,14	5,72	8,00	17,37	8,37	14,10
	2,0	7,06	6,53	6,70	19,23	8,60	21,43
	4,0	9,41	8,02	9,66	24,60	14,13	28,73
	8,0	11,20	8,71	8,06	34,83	18,20	35,10

QUADRO 5- Acúmulo de N-nítrico na folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nítrico na fase inicial de crescimento (média de três repetições).

Cultivares	Níveis N-NO ₃ (mM) ³	N-nítrico (mg N.g ⁻¹ m.s.)		
		folha	caule	raiz
'Rio Tj bagi'	0,0	0,14	0,06	0,03
	1,0	0,17	0,19	0,36
	2,0	0,19	0,20	0,81
	4,0	0,19	0,28	0,99
	8,0	0,18	0,61	1,16
'Eriparza'	0,0	0,14	0,10	0,03
	1,0	0,31	0,18	0,13
	2,0	0,18	0,21	0,13
	4,0	0,20	0,29	1,20
	8,0	0,22	0,38	1,18
'Carioca'	0,0	0,16	0,07	0,02
	1,0	0,19	0,18	0,30
	2,0	0,21	0,20	0,46
	4,0	0,19	0,38	1,17
	8,0	0,30	0,86	1,57

A Figura 5 mostra um efeito quadrático do nitrato sobre o teor de N-total na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca'. Muitos trabalhos têm mostrado o aumento no teor de nitrogênio em diferentes partes da planta, com o aumento na disponibilidade de nitrogênio, TERMAN et alii (136). Para o feijoeiro, destacam-se os trabalhos de PECK & MacDONALD (113), SRIVASTAVA e ORMROD (135) e OSÓRIO & FREIRE (108).

Existem muito mais evidências experimentais que mostram que o teor de nitrogênio orgânico solúvel (aminoácidos, amins, amidas e proteínas solúveis em água) aumenta, enquanto o teor de N-insolúvel (proteínas e ácidos nucleicos) aumenta até certo limite, com o acréscimo da dose de adubo nitrogenado, MENGEL & KIRKBY (95). No presente estudo, o teor de nitrogênio orgânico solúvel (Figura 6) tende a aumentar apenas na folha, com o acréscimo de nitrogênio até 8,0 mM N-NO₃⁻. Para o nitrogênio insolúvel (Figura 7), tal aumento também ocorre com o acréscimo do nitrogênio até 8 mM N-NO₃⁻, exceto para as raízes, quando o aumento ocorre apenas até 4,0 mM N-NO₃⁻. Desta forma, conclui-se que o nitrato estava sendo assimilado na raiz numa taxa que não suplantava a taxa de uso de aminoácidos para a síntese protéica, para qualquer nível de nitrogênio.

No Quadro 5, observa-se a participação do N-nítrico acumulado na raiz, caule e folha das diferentes cultivares de feijoeiro, submetidas aos diversos níveis de nitrato. Independente do nível de nitrato, a contribuição do N-nítrico para o N-total, nas diferentes partes da planta, é bastante baixa. A 4,0 mM N-NO₃⁻, a

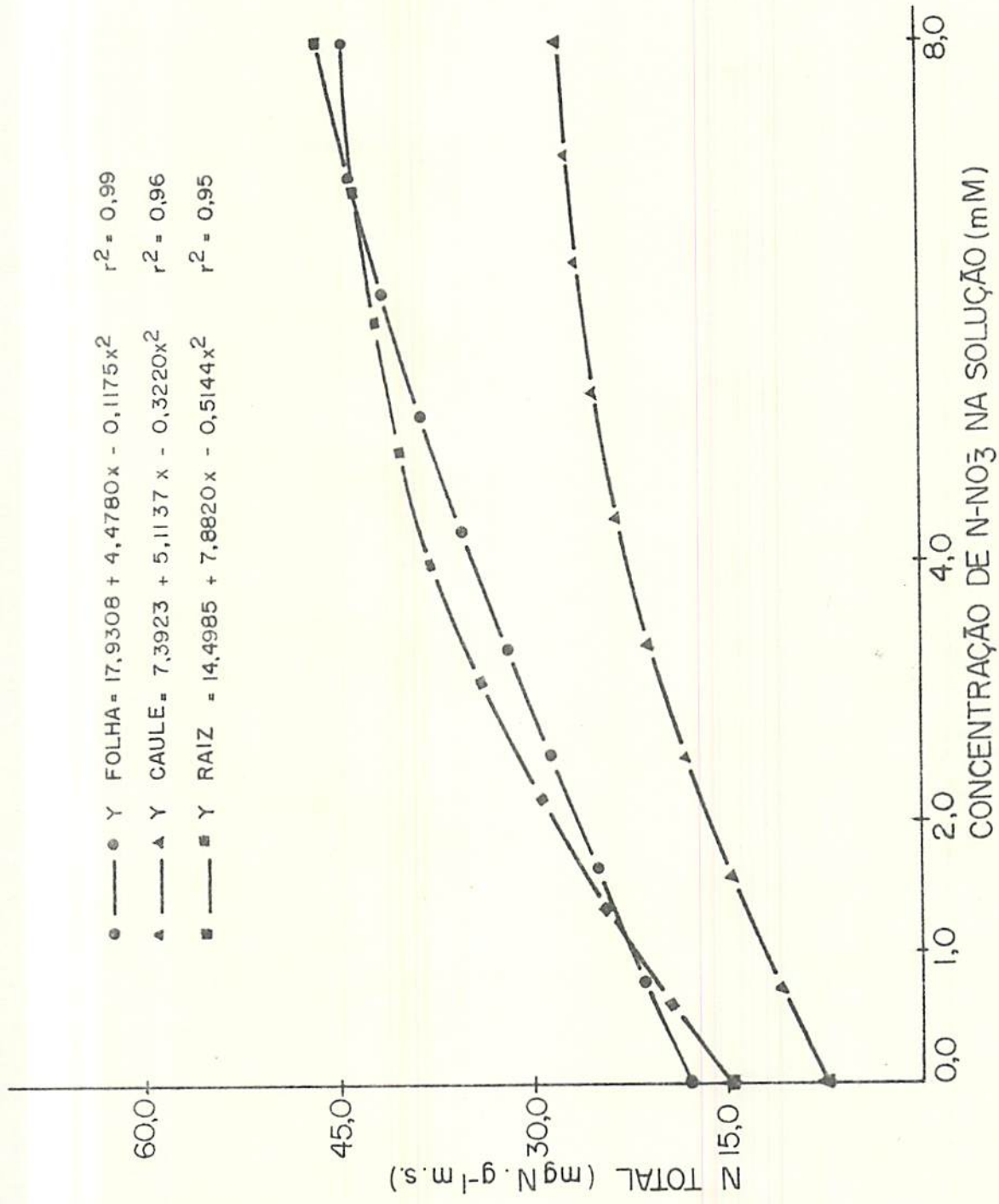


FIGURA 5 - Efeito do N-nítrico sobre a concentração de N-total na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca'.

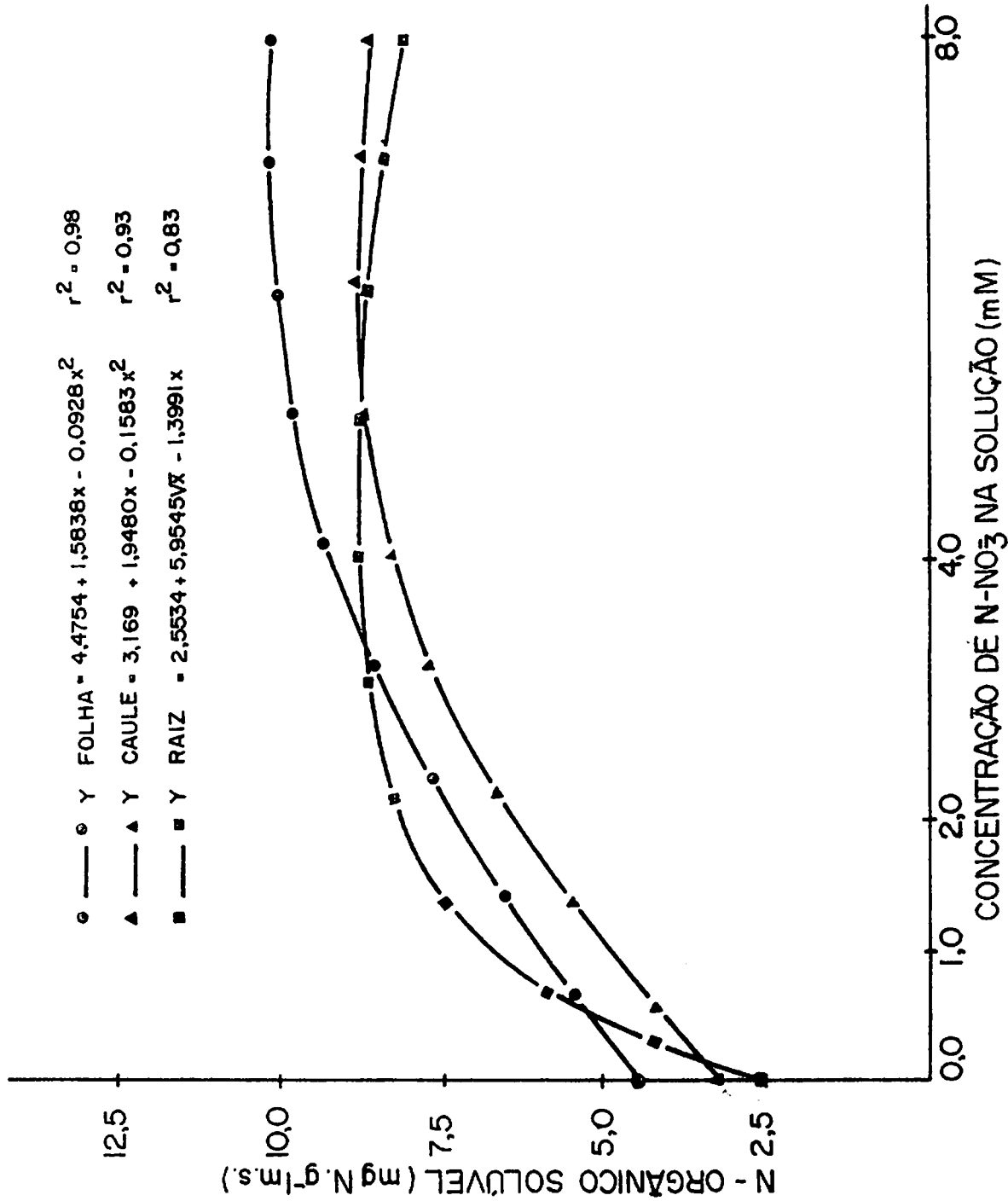


FIGURA 6 - Efeito do N-nítrico sobre a concentração de N-orgânico solúvel na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca'.

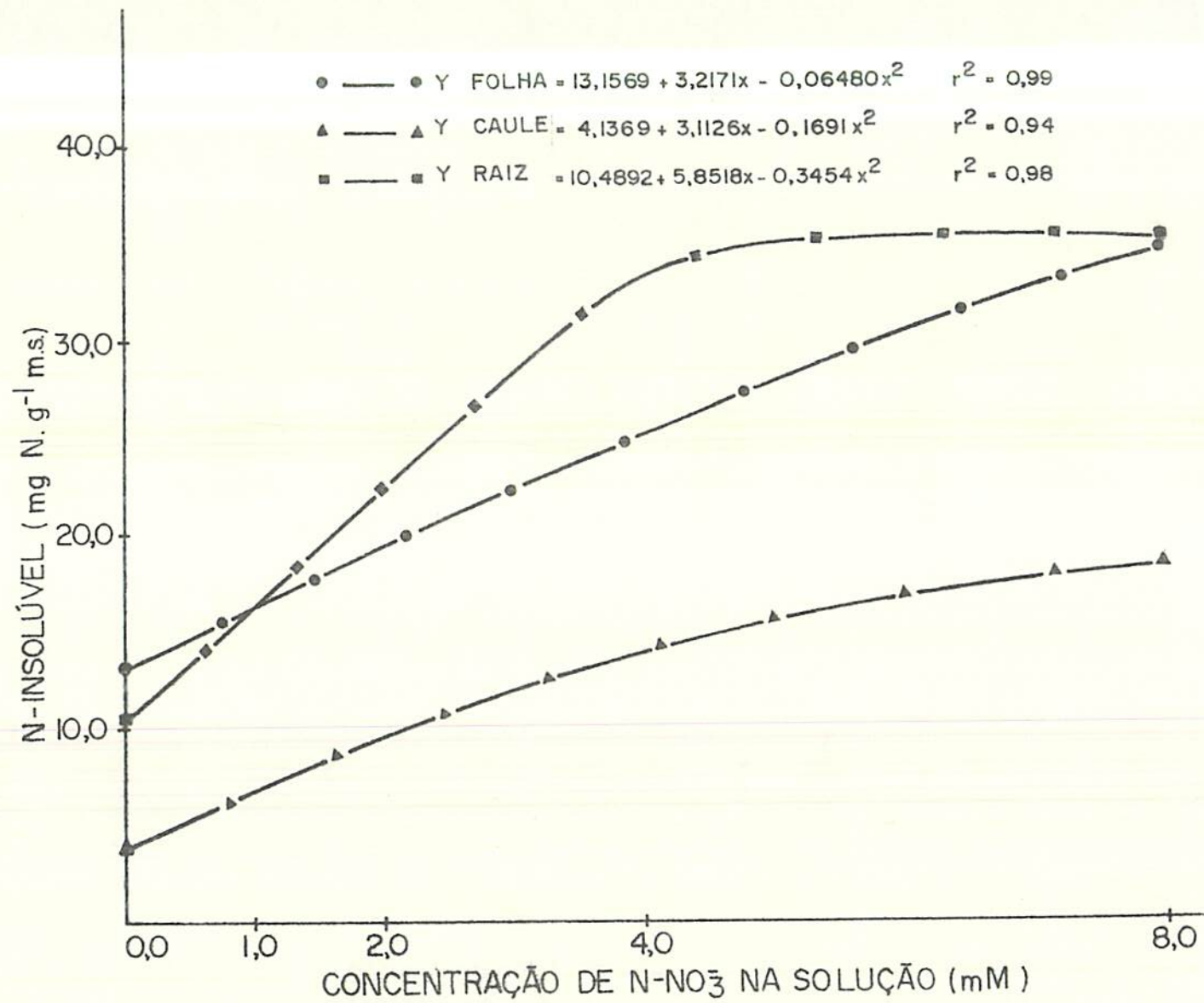


FIGURA 7 - Efeito do N-nítrico sobre a concentração de N-insolúvel na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca'.

cultivar 'Carioca' mostrou 0,6, 1,7 e 3,1% de $N-NO_3^-$, em relação ao N-total, para a folha, caule e raiz, respectivamente. Resultados desta natureza foram observados em *Pinus radiata* por KELLY & LAMBERT (73); em eucalipto por FURTINI NETO (51) e em azevém por VOSE & BREESE (148).

Nas raízes, o acentuado acúmulo de $N-NO_3^-$ com o aumento no suprimento de nitrato (Figura 8) constitui um fato indicativo da relativa incapacidade de redução do nitrato no sistema radicular do feijoeiro. Todavia, não devem ser descartadas as possibilidades de certa limitação na capacidade de transporte de nitrato da raiz para a parte aérea, pelo feijoeiro, e, também, a de limitação no processo de lavagem das raízes após a colheita, que foi feita com água destilada e imersão em $CaSO_4$ 0,5 mM durante cinco minutos.

De acordo com HUNGRIA et alii (64), a maior atividade da redutase do nitrato nas folhas ocorreu na fase inicial de crescimento do feijoeiro. FÉLIX et alii (39) observaram uma capacidade de redução do nitrato pelas raízes do feijoeiro de 20% (25 dias após a germinação) e 7% (55 dias após a germinação) em relação às folhas. Para o feijão de corda (*Vicia faba* L.) as raízes também apresentaram baixa capacidade de redução do nitrato, DOUGLAS & WEAVER (32).

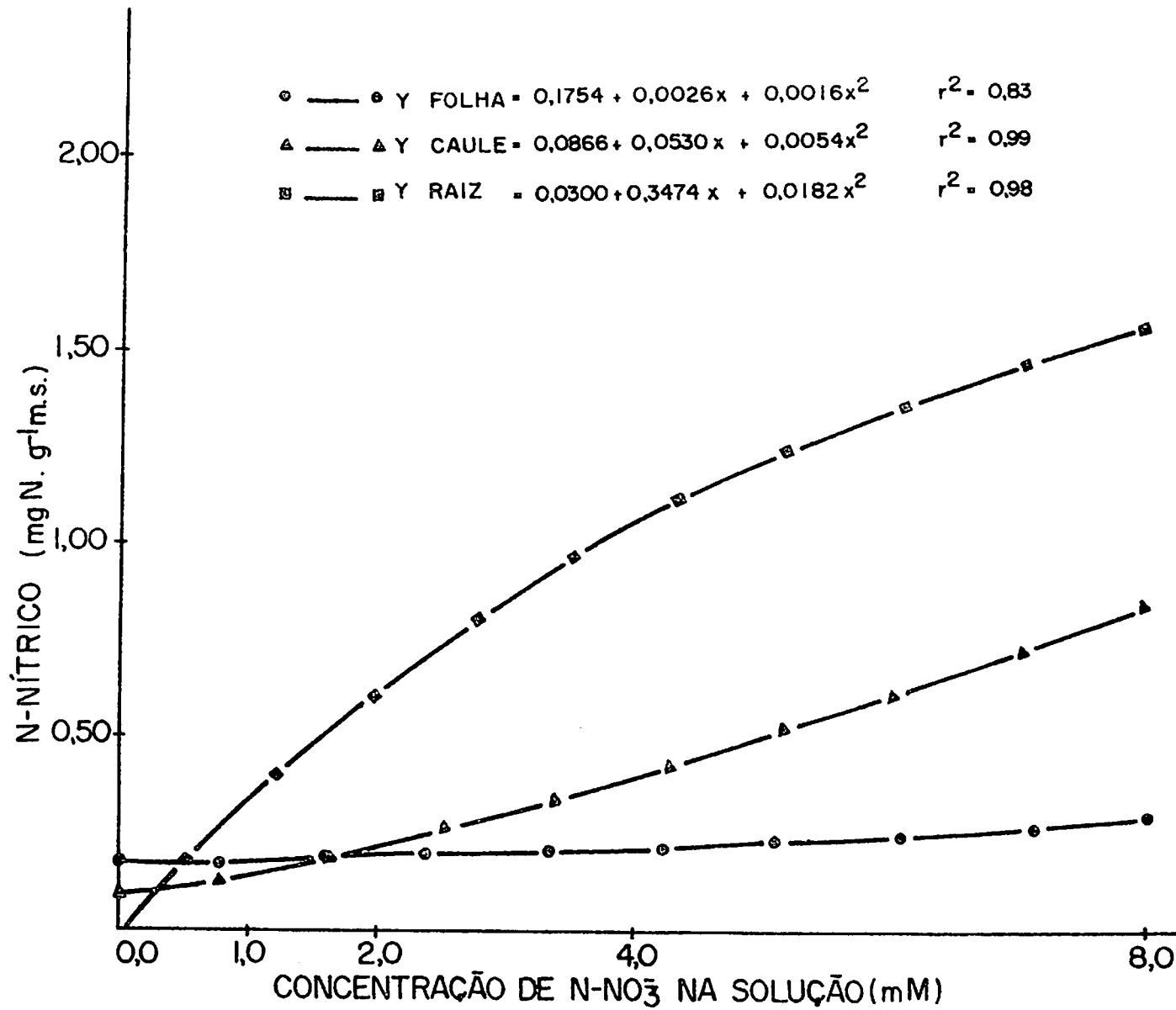


FIGURA 8 - Efeito do N-nítrico sobre a concentração do N-nítrico na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca'.

4.1.3. Eficiência de utilização do nitrogênio

Na consideração de produção de biomassa em relação ao suprimento de nutriente, a eficiência de utilização do nutriente absorvido é tão importante quanto a eficiência de absorção. Os estudos nesse sentido tendem a se concentrar em certos nutrientes, notadamente nitrogênio e fósforo, para os quais já se evidenciou diferenças genotípicas quanto à eficiência de absorção e de utilização, FURLANI et alii (50) e BLAIR & CORDERO (12).

Segundo GERLOFF (56), a eficiência de utilização de um dado nutriente é definida como sendo a quantidade de biomassa produzida por unidade do nutriente presente na biomassa. Ressalta-se que a eficiência de utilização constitui apenas um dos dois parâmetros da eficiência de uso do nutriente.

A utilização do nitrogênio mineral absorvido pelas plantas resulta da integração de pelo menos dois processos: a assimilação e a translocação de nitrogênio solúvel. Por exemplo, estudos têm demonstrado a existência de diferenças marcantes na capacidade de redução do nitrato entre genótipos de milho, SCHRADER et alii (126). Tanto a variação entre genótipos, quanto a de alguns fatores ambientais podem contribuir para a eficiência de utilização do nitrogênio, MOLL et alii (100).

A Figura 9 mostra a eficiência de utilização do nitrogênio nítrico para a parte aérea das diferentes cultivares de feijoeiro, quando submetidas a diferentes níveis de nitrato. Observa-

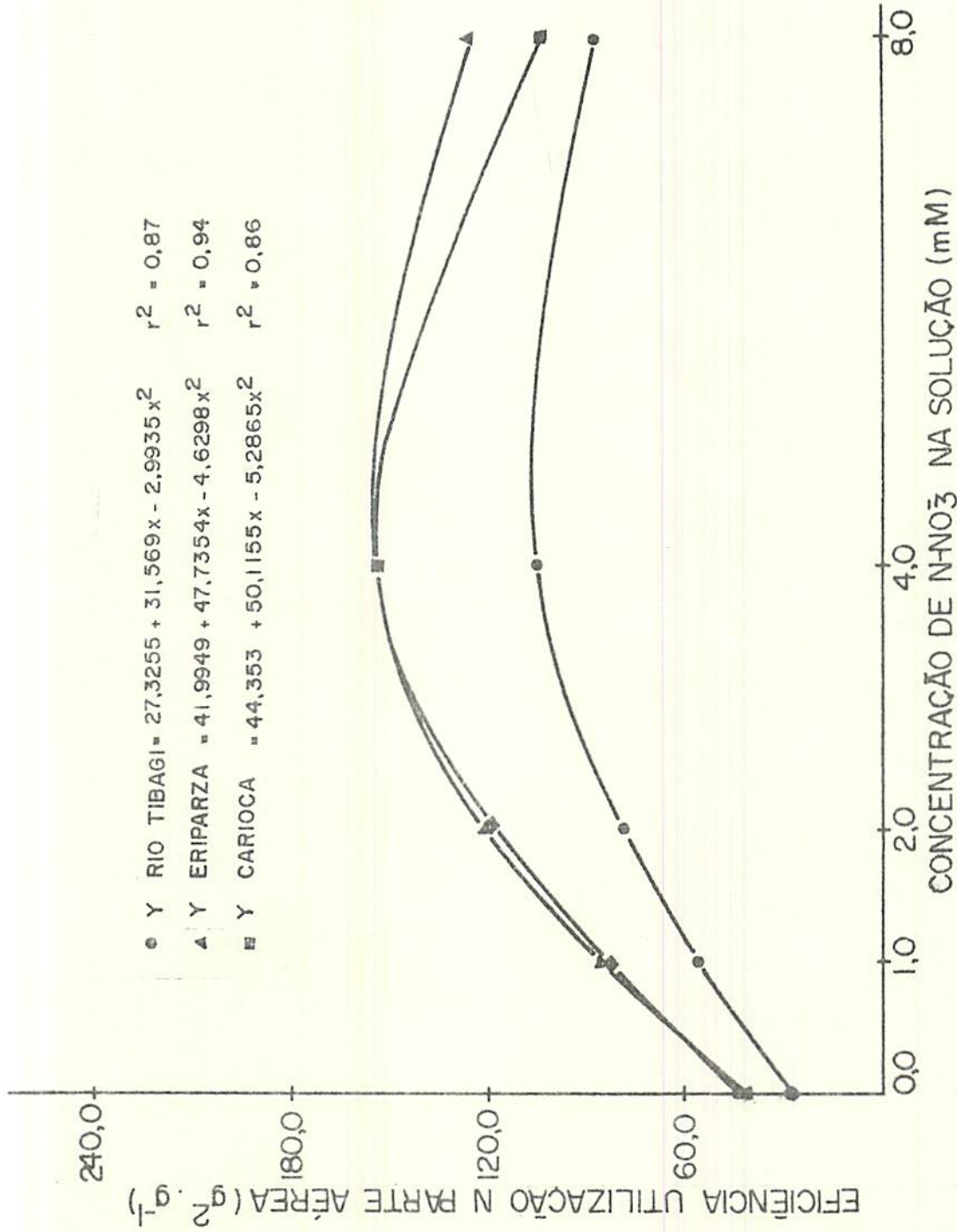


FIGURA 9 - Eficiência de utilização de nitrogênio pelas cultivares de feijoeiro, submetidas a níveis crescentes de N-nítrico na solução nutritiva.

se um aumento progressivo da eficiência de utilização com o aumento na concentração de nitrogênio até 4,0 mM N-NO₃⁻, enquanto que acima deste nível a eficiência decresce, principalmente para a cultivar 'Carioca'. As três cultivares mostraram comportamento praticamente idêntico quanto à eficiência de utilização do nitrogênio na forma nítrica, todavia, a cultivar 'Rio Tibagi' mostrou-se muito menos eficiente que as outras duas, especialmente nos níveis 2,0 e 4,0 mM N-NO₃⁻.

De acordo com SILVA (129), a cultivar 'Carioca' mostrou-se mais eficiente no uso de nitrogênio, mas menos responsiva, enquanto que a 'Rio Tibagi' mostrou-se menos eficiente, porém, mais responsiva. Por sua vez, a cultivar 'Eriparza' não apresentou resposta a nitrogênio. No restante da literatura consultada, não se encontrou informação a respeito da eficiência de utilização do nitrogênio por cultivares de feijoeiro. Acentuadas diferenças entre cultivares têm sido observadas: para arroz, FURLANI et alii (50) e FAGERIA & BARBOSA FILHO (37); para tomate, O'SULLIVAN et alii (109); para sorgo, MARANVILLE et alii (88); para milho, ANDERSON et alii (2); e para outras culturas. Em muitos desses estudos, a eficiência de utilização tem-se correlacionado significativamente com a produção de matéria seca ou de grãos.

4.2. Experimento II

4.2.1. Produção de matéria seca, relação de matéria seca raiz/parte aérea (R/P) e área foliar

Considerando-se a produção de biomassa (Figura 1 e 2), relação R/P (Figura 3), área foliar (Figura 4) e eficiência de utilização do nitrogênio (Figura 9), o nitrogênio suprido na concentração de 4 mM de N foi selecionado para ser utilizado neste experimento, visando uma avaliação mais real da resposta das cultivares ao nitrogênio, qual seja, com suprimento tanto de nitrato quanto de amônio. Deve-se ressaltar que plantas cultivadas normalmente no campo estão expostas tanto a nitrato quanto a amônio, cujas quantidades e proporções variam sobremaneira.

Observa-se no Quadro 5A que houve diferença altamente significativa entre as cultivares estudadas para as diferentes proporções amônio/nitrato, bem como para a interação das proporções com as cultivares, para a produção de matéria seca da parte aérea. } 2

Para as três cultivares, nota-se um efeito quadrático das proporções amônio/nitrato para a produção de biomassa da parte aérea (Figura 10). Considerando-se uma única fonte nitrogenada, as cultivares, quando supridas com nitrato, apresentam uma produção de biomassa cerca de duas vezes maior que quando supridas com apenas amônio. O maior crescimento das plantas supridas com nitrato em comparação com aquelas supridas com amônio também

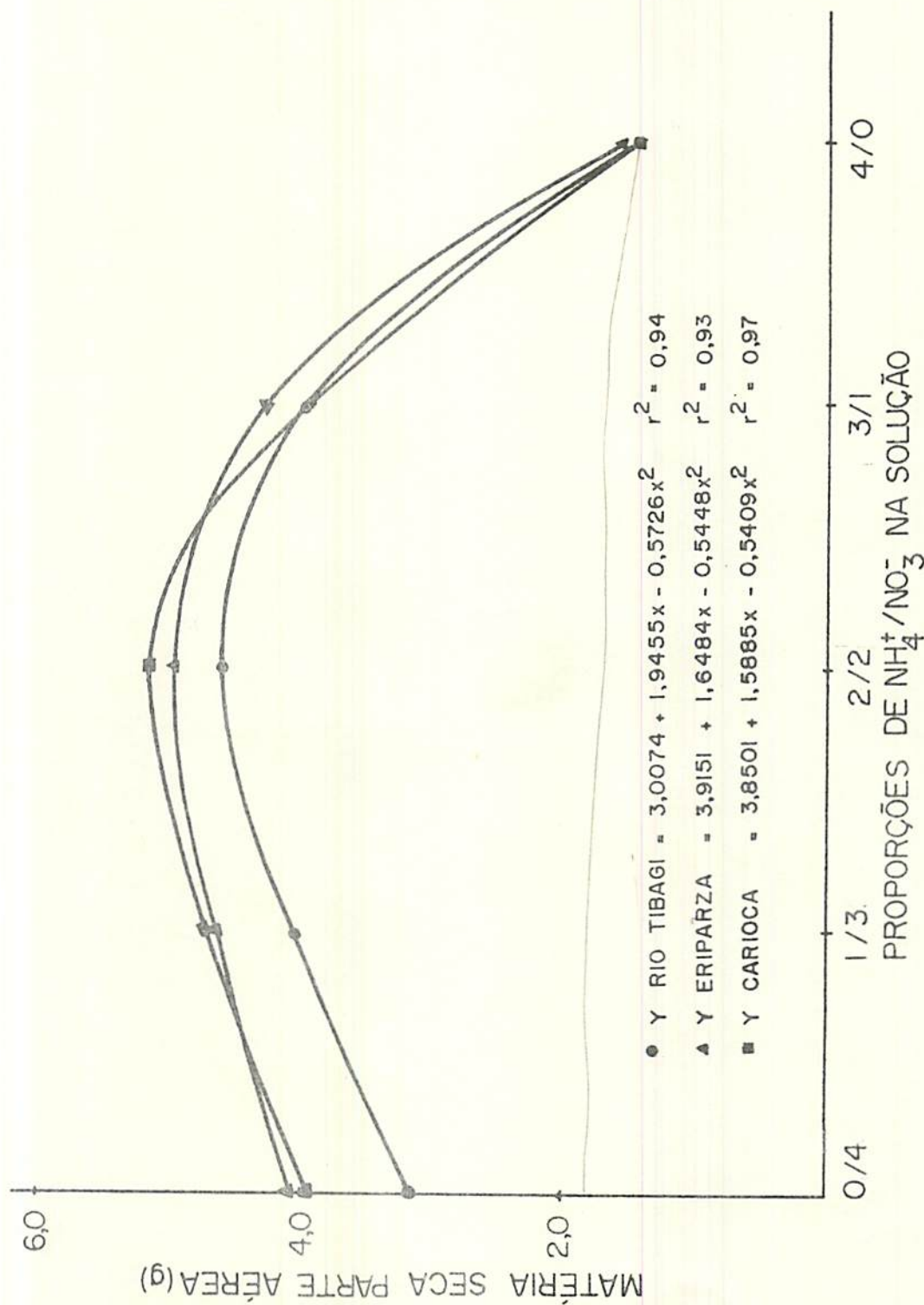


FIGURA 10 - Produção de matéria seca na parte aérea das cultivares de feijoeiro, em função das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N.

foi observado por BENNETT et alii (10) para o milho, por GASHAW & MUGWIRA (54) para trigo e centeio e também para o feijoeiro, por TIMPO & NEYRA (137).

Por outro lado, a superioridade da forma nítrica sobre a amoniacal muitas vezes não é tão evidente, conforme resultados de BLACQUIÈRE et alii (11) e de JARVIS (72). E, na verdade, certas espécies de plantas parecem preferir a forma amoniacal em detrimento da nítrica, TOWNSEND (139), KIRKBY (74). É interessante ressaltar que, na preferência à forma amoniacal, têm-se observado destacadas diferenças entre cultivares de uma mesma espécie, KRAJINA et alii (78). Nesse sentido, segundo KIRKBY (74), as espécies ou cultivares de plantas que crescem bem em solos ácidos, condições com reduzida nitrificação, tendem a preferir a forma amoniacal sobre a nítrica. Neste estudo, o crescimento das três cultivares foi igualmente reduzido pelo suprimento de apenas amônio, o que pode ser indicativo da baixa tolerância destas cultivares à acidez do solo. Mas, quando apenas nitrato se fazia presente na solução nutritiva, o crescimento da cultivar 'Rio Tibagi' foi menor que o das demais cultivares (Figura 10).

O baixo crescimento da maioria das plantas sob suprimento de apenas nitrogênio amoniacal é freqüentemente atribuído à acidificação da rizosfera, HAYNES & GOH (62) e RUNGE (122). No presente estudo, apesar da correção do pH da solução para pH 6,0, a cada quatro dias de cultivo, com fornecimento de apenas amônio observa-se acentuado aumento da acidez da solução nutritiva, cuja

magnitude de decréscimo foi igual para as três cultivares (Figura 11, exemplificando a cultivar 'Carioca'). Ressaltando a importância da acidificação, MAYNARD & BARKER (91) observaram que o efeito prejudicial do amônio no crescimento de feijão, pepino, milho e ervilha foi neutralizado pelo tamponamento da solução externa. Com a acidificação do meio externo, o crescimento das raízes é severamente afetado com conseqüente redução na absorção de certos nutrientes, incluindo-se a própria absorção e assimilação do amônio, TOLLEY HENRY & RARPER Jr (138), MARCUS-WYNER (89), MUNN & JACKSON (102) e LEWIS et alii (81).

Observa-se ainda, na Figura 10, que o aumento na proporção de amônio na solução, até esta forma perfazer cerca de 50% do nitrogênio suprido, resulta em apreciável aumento na produção de matéria seca da parte aérea por todas as cultivares estudadas. O efeito benéfico da presença de amônio juntamente com nitrato, com o amônio perfazendo de 25 a 50% do nitrogênio total suprido às plantas, tem sido também reportado para milho, SCHRADER et alii (126); alface, SCAIFE et alii (125); tomate, GANMORE-NEUMANN & KAFKAFI (52) e *Phaseolus lunatus* L., McELHANNON & MILLS (93), apesar da razão desse efeito ainda não ser bem conhecida.

Segundo COX & REISENAUER (28), como a redução de nitrato para amônio na planta é um processo que requer grande quantidade de energia, pode-se supor que com o suprimento direto de amônio há maior conservação de energia que pode ser dirigida para outros processos metabólicos, incluindo-se a absorção de nutrientes

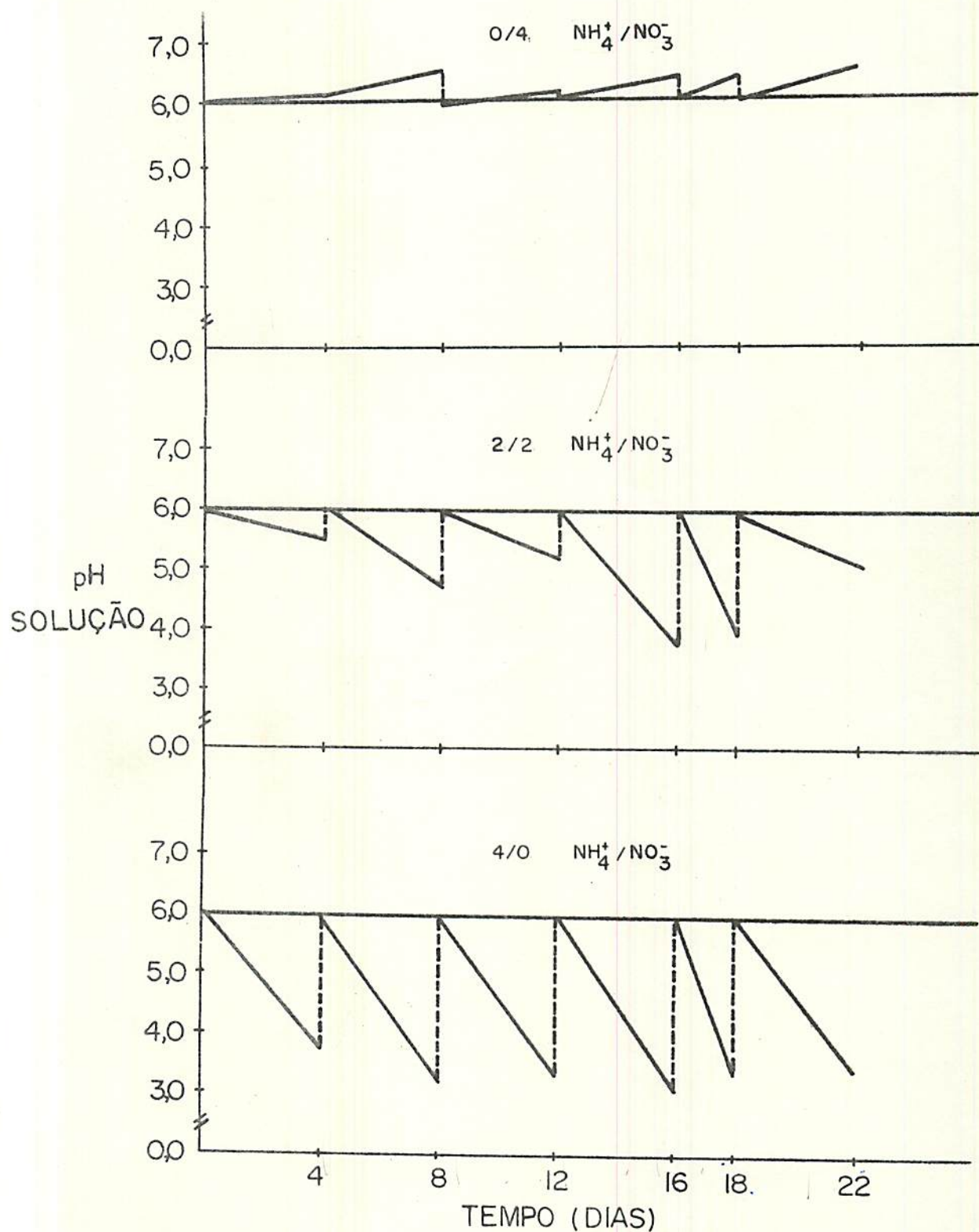


FIGURA 11 - Variação de pH na solução nutritiva durante o crescimento da cultivar 'Carioca', em diferentes proporções de amônio/nitrato (média de três repetições). A linha tracejada representa a correção do pH para o valor original ($\text{pH } 6,0 \pm 0,5$).

e o próprio crescimento. A absorção de ambas as formas nitrogenadas também tende a resultar num melhor balanço de cátions e ânions, orgânicos e inorgânicos, na planta, KIRKBY (74). O suprimento de nitrogênio nessas diferentes formas resulta também em importantes diferenças na capacidade fotossintética das plantas, principalmente relacionada com o acentuado aumento que o amônio, quando comparado com o nitrato, promove na fotorrespiração, YAMADA & IKEDA(154). Mais recentemente, tem-se procurado um melhor entendimento do impacto da presença de diferentes formas de nitrogênio através da avaliação da síntese de fitohormônios quando, principalmente, amônio e/ou nitrato são fornecidos às plantas. Nesse sentido, BUBAN et alii (20) observaram que a exportação de citocinina da raiz para a parte aérea de macieira era muito maior em plantas supridas com amônio do que com nitrato.

Ressaltou-se anteriormente que o baixo crescimento das plantas, quando supridas exclusivamente com amônio, tem sido atribuído principalmente à acidificação da rizosfera. Todavia, é preciso ressaltar também que o suprimento de ambas as formas de nitrogênio, em igual proporção, que resultou em máxima produção de biomassa da parte aérea (Figura 10), também induziu sensível decréscimo de pH da solução externa (Figura 11). Deste modo, parece que a acidificação induzida pelo amônio não constitui a única causa do efeito prejudicial do suprimento de apenas esta forma de nitrogênio.

Apesar das três cultivares de feijoeiro apresentarem o

mesmo comportamento com respeito à variação na proporção amônio/nitrato, merece destaque o fato da cultivar 'Rio Tibagi' ter apresentado menor crescimento que as demais, quando a forma nítrica se fazia presente em 50% ou mais do total de nitrogênio suprido. Assim sendo, espera-se que esta cultivar apresente menores produções de biomassa que as outras duas em solos com elevada taxa de nitrificação, considerando-se apenas o suprimento de nitrogênio.

A Figura 12 mostra que as cultivares estudadas apresentaram o mesmo tipo de resposta para o crescimento do sistema radicular, em função das diferentes proporções de amônio/nitrato. O mesmo efeito quadrático observado para a parte aérea (Figura 10) também ocorre para a raiz, ressaltando-se, entretanto, que a máxima produção de biomassa da raiz já tende a ocorrer com o suprimento de apenas 25% do nitrogênio total, na forma de amônio. Resultados semelhantes também foram obtidos por McELHANNON & MILLS (93), GASHAW & MUGWIRA (54) e JARVIS (72).

No presente estudo observou-se que, com o suprimento de somente amônio, as raízes das três cultivares mostraram-se mais curtas, engrossadas e escurecidas. Estes sintomas foram também relatados por BENNETT et alii (10) e WARNCKE & BARBER (150) em milho, por BLACQUIÈRE et alii (11) em *P. lanceolata* e *P. major* e por McELHANNON & MILLS (93) em *P. lunatus*, L. Provavelmente, estas modificações na morfologia e proliferação do sistema radicular resultam em acentuada redução na capacidade de absorção de certos nutrientes, inclusive o próprio amônio.

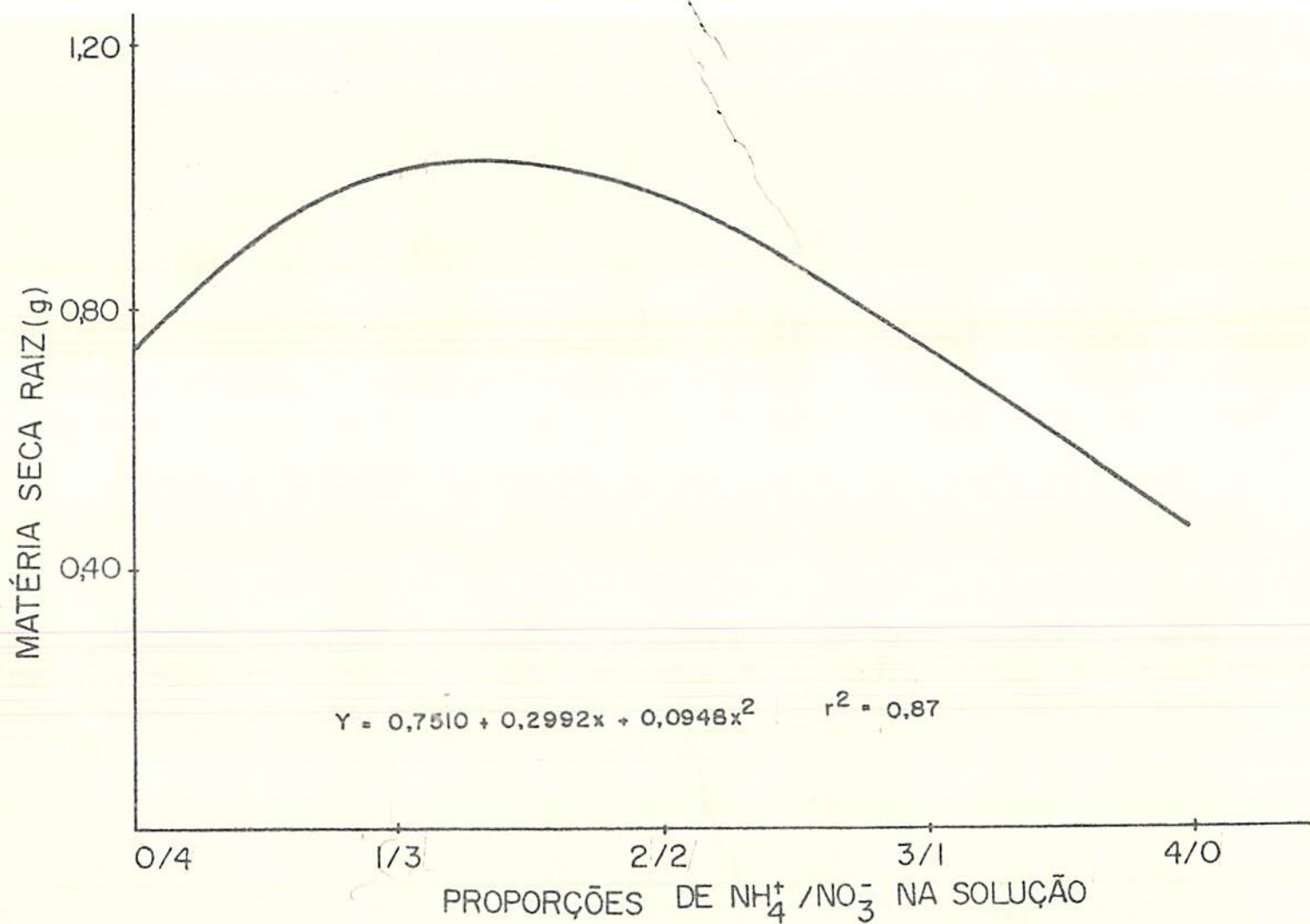


FIGURA 12 - Produção de matéria seca da raiz das cultivares de feijoeiro, em função das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N.

A relação R/P tende a permanecer em torno de 0,2, com o aumento da proporção de amônio na solução em até 75% do total de nitrogênio suprido às diferentes cultivares (Figura 13). Acima desta proporção, há acentuado aumento nesta relação, o que se deveu a uma maior redução no crescimento da parte aérea (Figura 10), do que aquela observada para o crescimento da raiz (Figura 12). Em elevadas concentrações, o amônio pode acumular na parte aérea, onde se constitui em desacoplador da fotofosforilação, KROGMAN et alii (79), causando sérios prejuízos ao crescimento da parte aérea. Esta mesma tendência de variação na relação R/P foi verificada para outras espécies, HAYNES & GOH (62), ATKINSON (4) e VISSER (146). Todavia, efeito oposto de nitrato e amônio tem sido reportado por GIGON & RORINSON (57), TROELSTRA et alii (141) e TIMPO & NEIRA (137), para outras espécies, inclusive o feijoeiro. Estes últimos autores, estudando o efeito de diferentes formas de suprimento de nitrogênio para o feijoeiro, cultivar 'Bunsi', observaram que o efeito prejudicial do amônio foi mais pronunciado na raiz do que na parte aérea, para plantas também na fase vegetativa de crescimento.

Observa-se, na Figura 13, que um aumento de até cerca de 25% na relação R/P pode ser conseguido ao passar de uma proporção amônio/nitrato de 0/4 para 1/3. Desta forma, conclui-se que aumentos nesta relação, sem qualquer comprometimento da produção de matéria seca da parte aérea, podem ser conseguidos, não apenas com a redução na disponibilidade de nitrogênio (Figura 3), mas também com o suprimento de amônio juntamente com o nitrato, mesmo

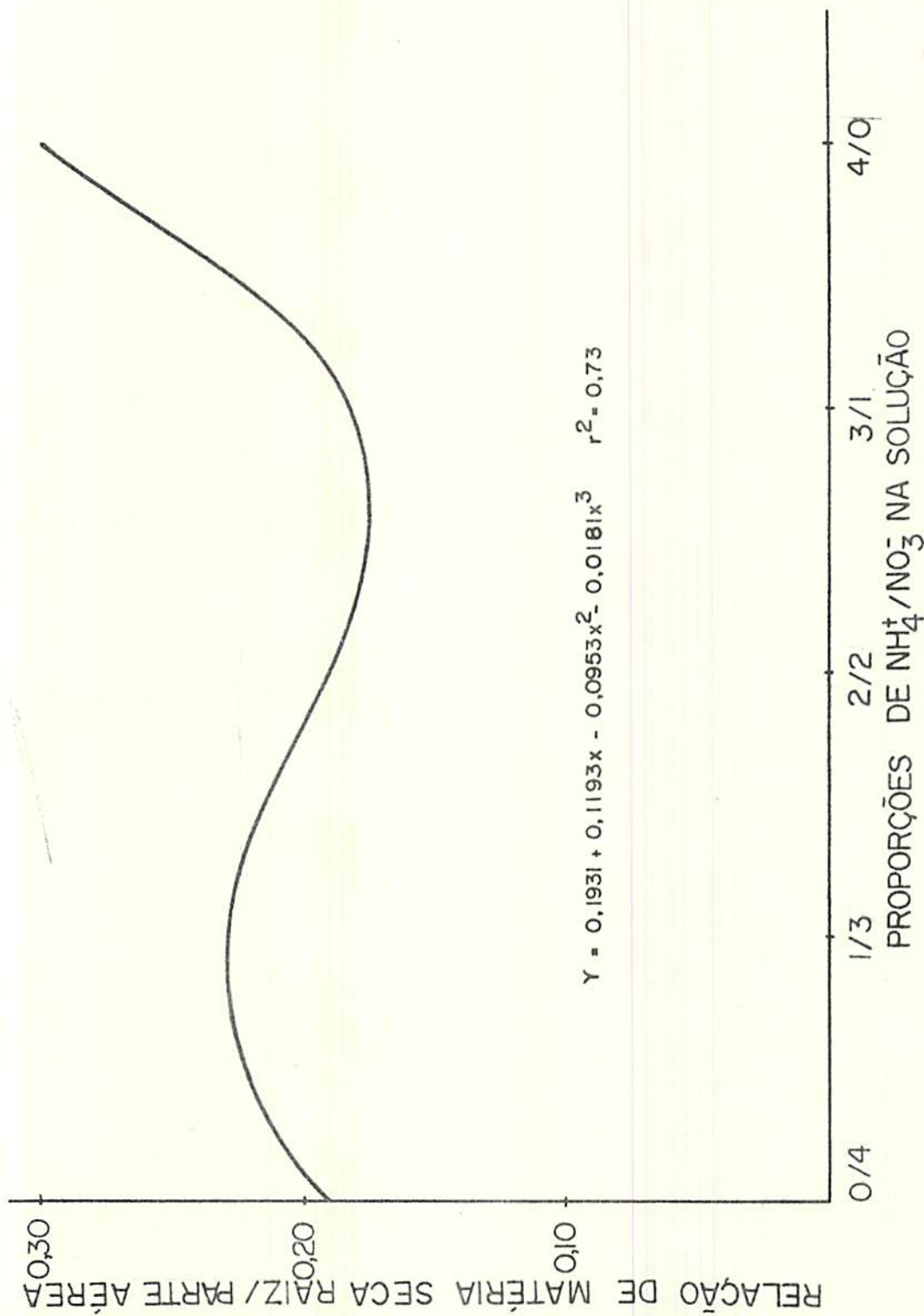


FIGURA 13 - Relação de matéria seca raiz/parte aérea (R/P) das cultivares de feijoeiro, em função das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N.

em disponibilidade mais elevada do nitrogênio.

As três cultivares de feijoeiro também apresentaram comportamento semelhante para a área foliar, em função das proporções de amônio/nitrato (Figura 14). A área foliar decresceu significativamente com o aumento da proporção de amônio além de 50% na solução nutritiva, o que está de acordo com a produção de biomassa da parte aérea (Figura 10). Por outro lado, diferente da produção de biomassa da parte aérea, o aumento na proporção de nitrato além de 50% não alterou a área foliar das diferentes cultivares.

O acentuado efeito do amônio, quando em maior proporção na solução, sobre a área foliar, concorda com vários resultados, McELHANNON & MILLS (93), MAYNARD & BARKER (91) e TOLLEY-HENRY & RARPER JR (138). Estes últimos autores afirmam que um dos principais efeitos do suprimento de nitrogênio na forma amoniacal é a redução na iniciação e expansão foliar, não afetando, contudo, a taxa fotossintética por unidade de área foliar.

4.2.2. Partição do nitrogênio total

Com exceção do teor de N-orgânico solúvel na folha e N-insolúvel na raiz, observa-se diferença altamente significativa entre as cultivares estudadas, para as proporções amônio/nitrato, bem como para a interação das proporções com as cultivares, para o N-total, N-nítrico, N-orgânico solúvel e N-insolúvel na folha, caule e raiz (Quadros 6A, 7A e 8A).

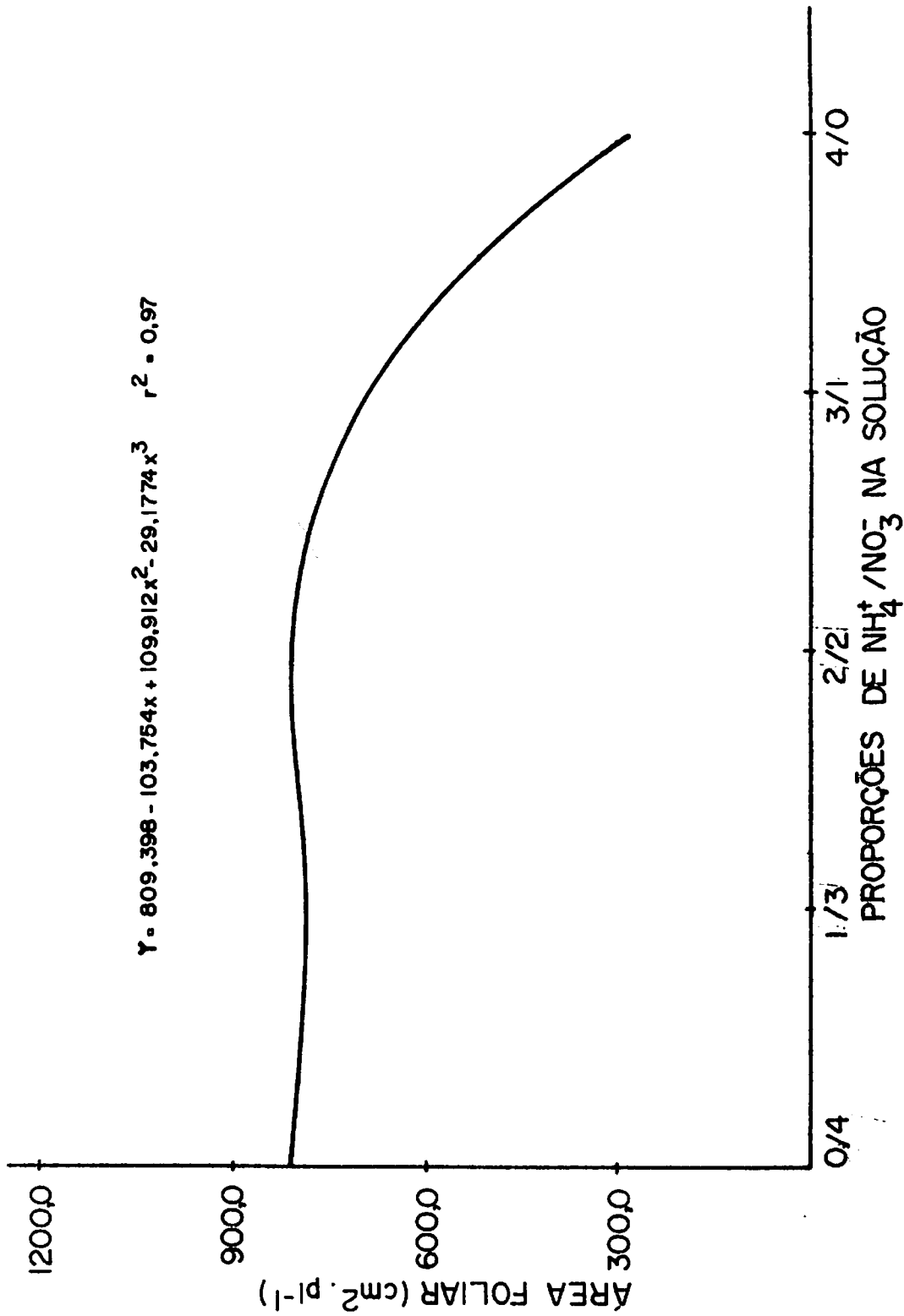


FIGURA 14 - Área foliar das cultivares de feijoeiro, em função das proporções de amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N.

Os Quadros 6 e 7 apresentam os teores de N-total e N-reduzido (solúvel e insolúvel) para as diferentes cultivares. À semelhança do experimento I, optou-se pela apresentação e discussão dos dados referentes à cultivar 'Carioca'. A alteração da proporção entre amônio e nitrato não resultou em diferenças significativas no comportamento de acúmulo de N-total pela cultivar 'Carioca', nas diferentes partes da planta (Figura 15). Resultados desta natureza foram também obtidos por SILVEIRA & SANT'ANNA (131) para o capim colonião. Por outro lado, KIRKBY (74) observou em mostarda aumento no teor de N-total com o aumento do amônio na solução nutritiva.

Exceto para o suprimento de nitrogênio apenas na forma nítrica, o maior acúmulo de N-total ocorreu na raiz, perfazendo cerca de 40% do nitrogênio acumulado pela planta. Este fato não deixa de ser um indicativo de maior translocação de nitrato e redução na parte aérea pelo feijoeiro.

Pela análise da Figura 16, observa-se que o suprimento de apenas uma das formas de nitrogênio resultou em igual acúmulo de N-orgânico solúvel, tanto na raiz quanto no caule. Os dados referentes a este acúmulo não são muito consistentes, pois maior acúmulo tem sido observado do suprimento de amônio, BLACQUIÈRE et alii (11), GIVAN (58) e HAYNES & GOH (62), ou quando do suprimento de nitrato, VISSER & LAMBERS (147). De qualquer forma, o decréscimo no teor de N-orgânico solúvel para as proporções intermediárias de amônio/nitrato é um refluxo de maior alocação de ni

QUADRO 6 - Concentração de N-total na folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições).

Partes da planta	Proporções $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	N-total ($\text{mg N.g}^{-1}\text{m.s.}$)		
		Cultivares		
		'Rio Tibagi'	'Eriparza'	'Carioca'
Folha	0/4	39,00	30,40	34,50
	1/3	38,83	31,13	33,07
	2/2	31,50	30,40	31,07
	3/1	30,67	31,40	32,00
	4/0	39,00	39,70	40,87
Caule	0/4	18,10	25,20	25,90
	1/3	17,00	19,40	14,47
	2/2	14,07	18,33	15,73
	3/1	12,67	18,13	20,40
	4/0	19,60	21,60	24,50
Raiz	0/4	37,17 ^{5,2}	35,47 ^{4,5}	31,47 ^{5,3}
	1/3	37,77 ^{5,2}	35,53 ^{5,1}	37,13 ^{4,6}
	2/2	39,33 ^{4,8}	38,97 ^{4,8}	36,93 ^{4,5}
	3/1	37,53 ^{4,5}	38,00 ^{4,0}	36,93 ^{4,8}
	4/0	37,00 ^{5,0}	44,20 ^{5,3}	39,60 ^{5,1}

QUADRO 7 - Frações do N-total (N reduzido solúvel e N reduzido insolúvel) da folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições).

Cultivares	Proporções $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Nitrogênio reduzido (mg N.g^{-1} m.s.)					
		solúvel			insolúvel		
		folha	caule	raiz	folha	caule	raiz
'Rio Tibagi'	0/4	8,17	6,81	8,43	30,67	11,03	27,53
	1/3	9,46	5,73	8,19	29,27	11,10	28,87
	2/2	7,03	4,87	9,36	24,37	9,07	29,23
	3/1	7,42	5,19	8,05	23,17	7,33	28,93
	4/0	9,35	8,73	5,84	29,57	10,73	30,80
'Eriparza'	0/4	9,81	6,23	9,21	20,40	18,33	25,07
	1/3	10,01	8,80	9,40	21,00	10,77	25,50
	2/2	9,71	7,18	9,18	20,57	11,00	30,60
	3/1	9,77	6,25	10,46	21,53	11,73	27,20
	4/0	9,33	8,75	7,53	30,30	12,70	36,30
'Carioca'	0/4	11,02	12,07	9,27	23,30	13,47	21,03
	1/3	10,57	6,37	5,87	22,40	8,20	30,33
	2/2	9,18	5,60	7,60	21,80	9,90	28,80
	3/1	9,94	7,28	7,90	21,97	12,90	34,57
	4/0	10,19	9,72	8,67	30,27	14,63	30,40

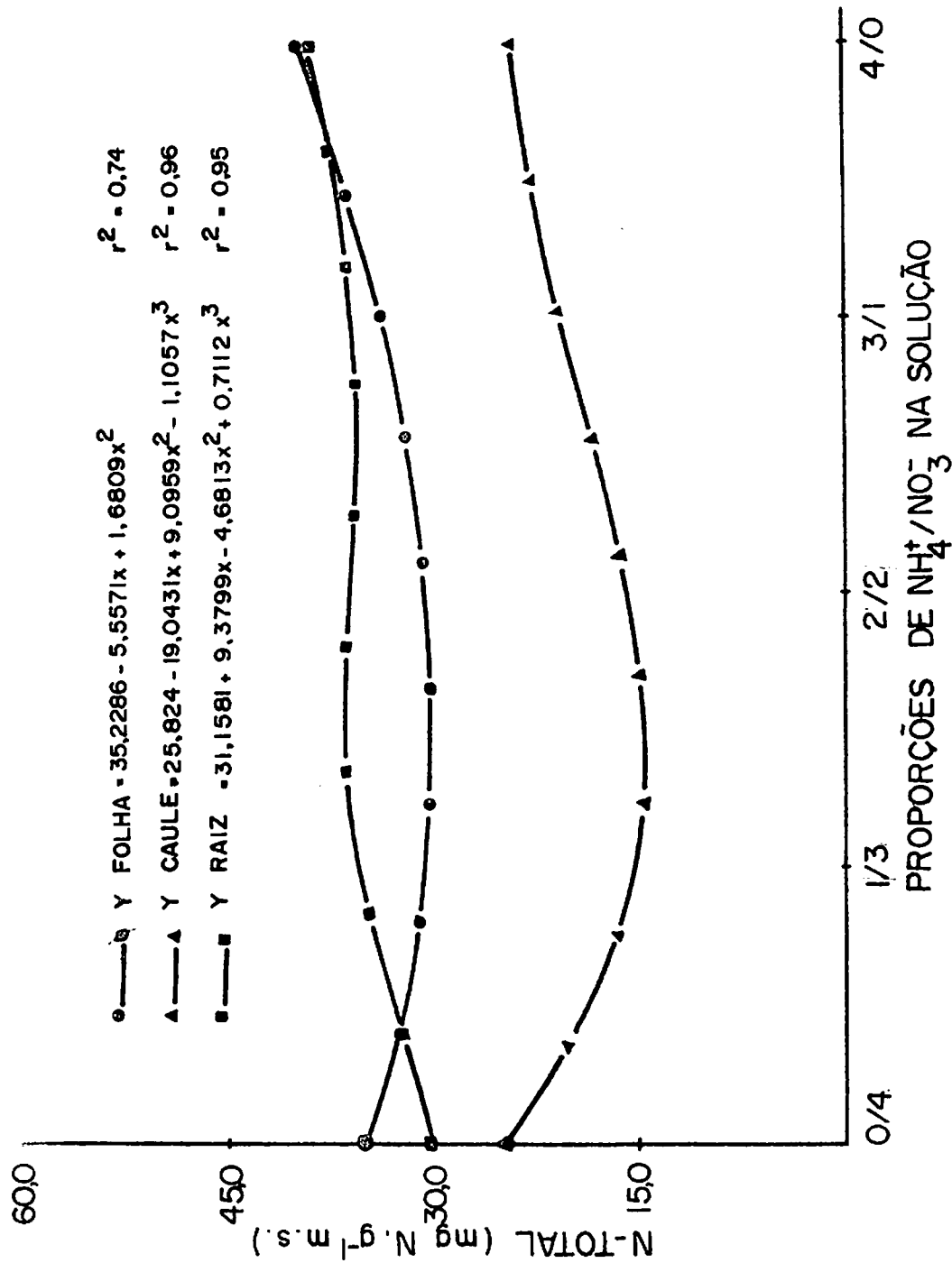


FIGURA 15 - Teor de N-total na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca', em função das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N.

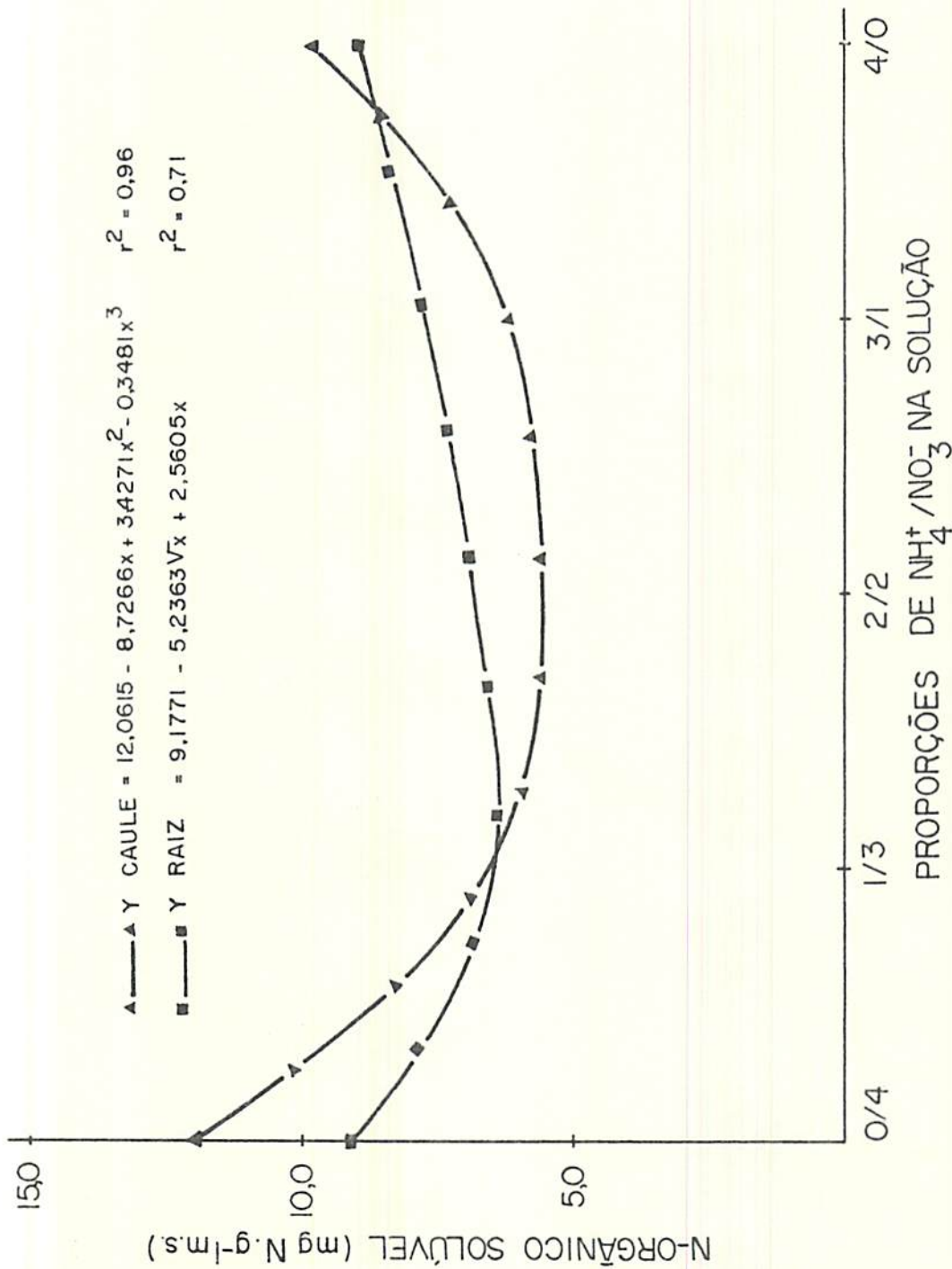


FIGURA 16 - Efeito das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N, sobre o teor de N-orgânico solúvel no caule e raiz da cultivar 'Carioca'.

trogênio para formas insolúveis (Quadro 8), notadamente no caule e raiz, o que explica, em parte, o maior crescimento do feijoeiro nestas relações. Na folha, o nitrogênio orgânico solúvel manteve-se relativamente constante, em torno de 10 mg N.g^{-1} matéria seca (Quadro 7).

Ressalta-se, entretanto, que o comportamento diferencial quanto à produção de biomassa apresentado entre a cultivar 'Rio Tibagi' e as outras duas (Figura 10) não pode ser explicado em função dos dados obtidos para o fracionamento do nitrogênio. Todavia, não se deve descartar diferenças no metabolismo nitrogenado entre estas cultivares, quando submetidas a diferentes formas de nitrogênio, com relação ao acúmulo diferenciado de metabólitos nitrogenados, notadamente aminoácidos, como encontrado em mostarda por KIRKBY (74) e em capim colônia por SILVEIRA & SANT'ANNA (131).

A raiz mostrou comportamento bastante distinto da parte aérea, em relação ao nitrogênio nítrico, com a elevação da proporção de nitrato na solução nutritiva (Figura 17). O aumento da concentração de nitrato nas raízes, com o aumento na disponibilidade de nitrato além de 50% do nitrogênio total suprido ao feijoeiro, constitui forte evidência da limitação de redução do nitrato nas raízes das cultivares estudadas. A baixa tendência de elevação do pH da solução nutritiva, (Figura 11), quando do suprimento de apenas nitrato para o feijoeiro, corrobora esta suposição, apesar da importância também exercida pelo balanço na absorção de

QUADRO 8 - Frações de nitrogênio total da folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca', submetida a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições).

Frações de nitrogênio	Proporções $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$				
	0/4	1/3	2/2	3/1	4/0
<u>folha</u>					
N total (mg N.g ⁻¹ m.s.)	34,5	33,1	31,1	32,0	40,8
% N-total					
N- NO_3^-	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2
N-orgânico solúvel	32,0	32,0	29,5	31,0	25,0
N-insolúvel	67,5	67,7	70,0	68,7	74,2
<u>caule</u>					
N-total (mg N.g ⁻¹ m.s.)	25,9	14,5	15,7	20,4	24,5
% N total					
N- NO_3^-	1,4	1,5	1,5	1,0	0,6
N-orgânico solúvel	46,6	43,9	35,6	35,6	39,7
N-insolúvel	52,0	56,0	63,0	63,2	59,7
<u>raiz</u>					
N-total (mg N.g ⁻¹ m.s.)	31,5	37,1	36,9	36,9	39,6
% N total					
N- NO_3^-	3,7	2,5	1,5	1,6	1,3
N-orgânico solúvel	29,0	15,8	20,0	21,0	22,0
N-insolúvel	66,7	81,7	78,0	77,4	76,7

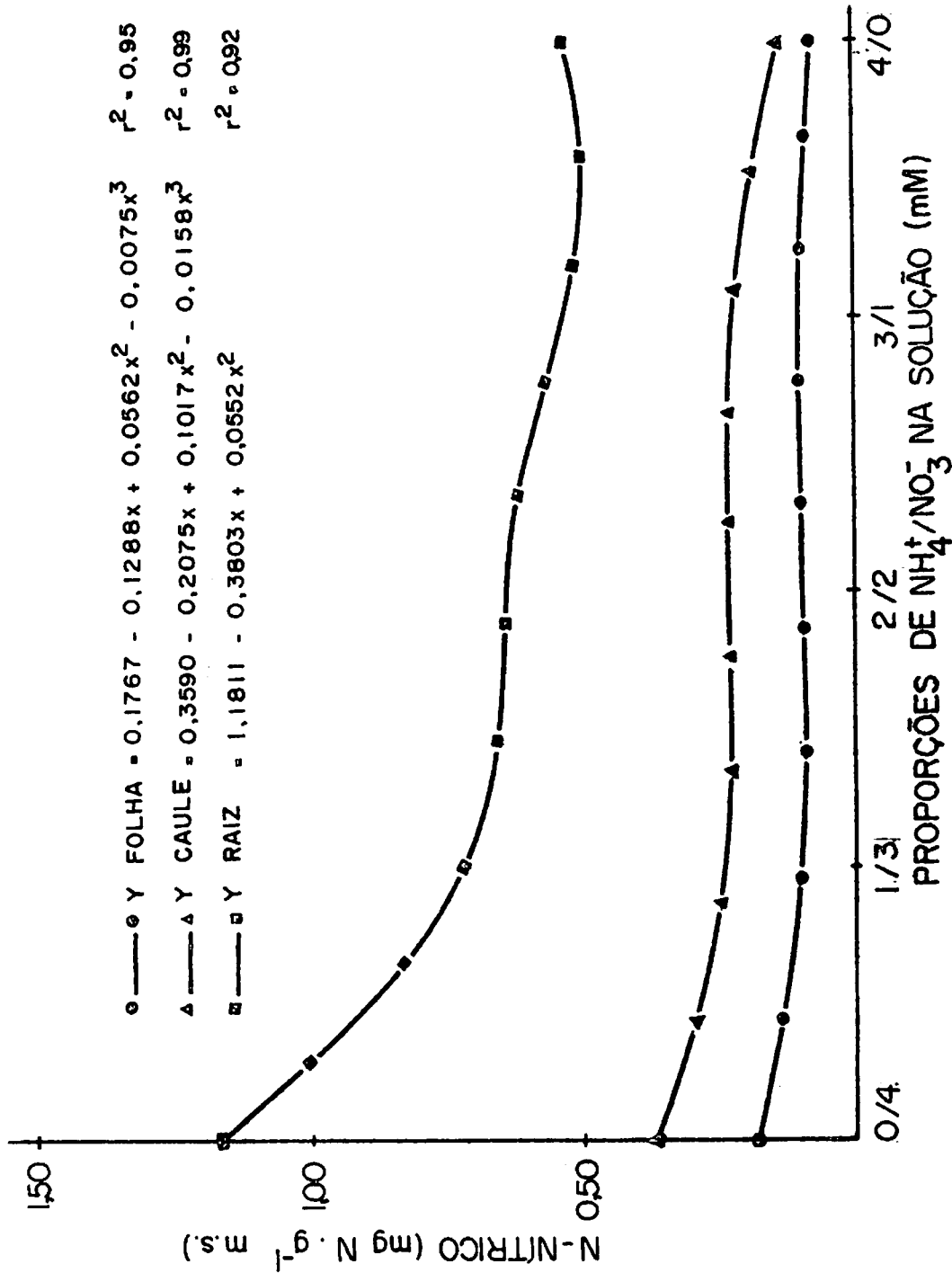


FIGURA 17 - Efeito das proporções amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N, sobre o teor de N-nítrico na folha, caule e raiz da cultivar 'Carioca'.

cátions e ânions, BEKELE et alii (8). A redução do nitrato predomina^uminantemente na parte aérea também foi observada para feijoeiro por DUBOIS & BURRIS (33).

Este padrão de partição do nitrato em feijoeiro é bastante distinto daquele observado por SILVEIRA & SANT'ANNA (131) para o capim colônião, o qual apresenta limitada redução de nitrato na parte aérea. Neste sentido, merece destaque o fato de que em certas espécies esta limitada redução parece estar ligada ao baixo fluxo de nitrato para as folhas, via corrente transpiratória, conforme observado por SHANER & BOYER (127) em milho e por OLIVEIRA (107) em cana de açúcar.

4.2.3. Eficiência de utilização do nitrogênio

A Figura 18 mostra a eficiência de utilização do nitrogênio, suprido em diferentes proporções amônio/nitrato, pela parte aérea das diferentes cultivares de feijoeiro. Observa-se comportamento semelhante entre as cultivares quanto à eficiência de utilização do nitrogênio, eficiência esta que, de certa forma, tende a correlacionar com a produção de matéria seca da parte aérea para as diferentes cultivares (Figura 10). É interessante ressaltar, todavia, que a cultivar 'Carioca' apresentou maior e menor eficiência de utilização do nitrogênio com o predomínio de nitrato ou amônio na solução, respectivamente. O contrário foi observado para a cultivar 'Rio Tibagi'.

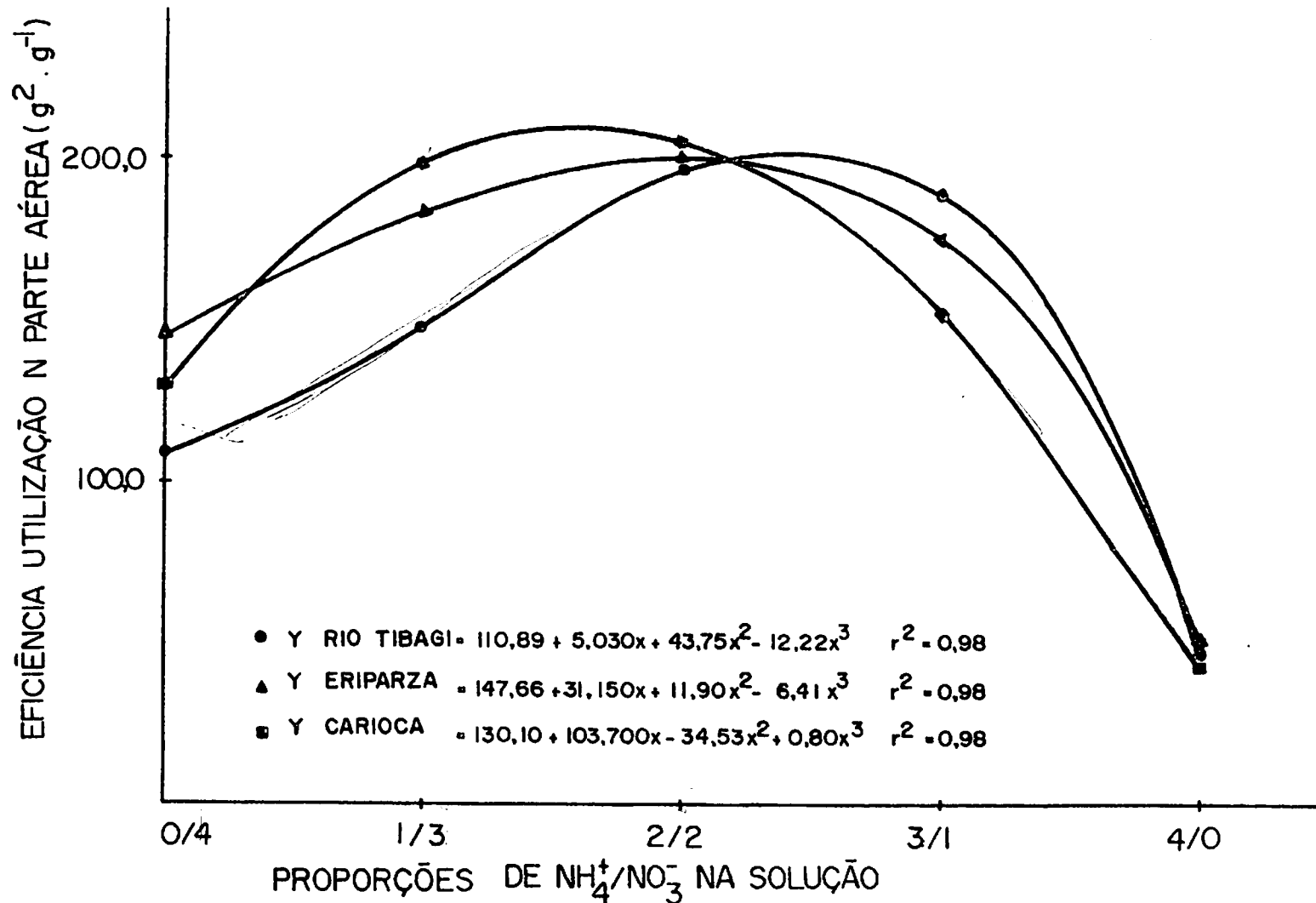


FIGURA 18 - Eficiência de utilização de nitrogênio pelas cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato na solução nutritiva contendo 4 mM N.

Apesar da eficiência de utilização constituir apenas um dos dois parâmetros da eficiência de uso de nitrogênio, MOLL et alii (100), deve-se ressaltar que a eficiência de utilização de nitrogênio observada sob predomínio de nitrato na solução está de acordo com a maior produção de grãos observada por SILVA (129), para a cultivar 'Carioca' em relação à 'Rio Tibagi', também com maior disponibilidade de nitrato no solo. Nesse estudo de SILVA (129), entretanto, a cultivar 'Eriparza' praticamente não respondeu ao nitrogênio aplicado ao solo. Ressalta-se que é precisa certa cautela em correlacionar a eficiência de utilização do nitrogênio na fase inicial de crescimento do feijoeiro com a produção de grãos, principalmente quando se comparam cultivares de ciclos distintos. Por exemplo, o rápido crescimento inicial da cultivar 'Eriparza' pode criar grande demanda por nitrogênio, com consequente aumento da absorção, resultando em elevada eficiência de utilização nesta fase. Também, considerando-se sua eficiência de utilização do nitrogênio que é praticamente idêntica à da cultivar 'Carioca', pode-se admitir para a 'Eriparza' menor eficiência de aquisição de nitrogênio do solo do que para a cultivar 'Carioca'.

4.2.4. Composição química

Os Quadros 9 e 10 mostram a composição química da parte aérea e raiz, respectivamente, para as cultivares de feijoeiro estudadas. Como era esperado, o aumento no suprimento de amônio ocasiona redução na concentração de cátions (C) e aumento na concen

QUADRO 9 - Composição química da parte aérea das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições)

Cultivares	Proporções NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻	Cátions Acumulados (μmol.g ⁻¹)			Ânions inorgânicos Acumulados (μmol.g ⁻¹)			Total(A)	C-A
		Total(C)		Mg ⁺²	Total(C)		SO ₄ ⁼		
		K ⁺	Ca ⁺²		PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁼			
'Rio Tibagi'	0/4	1015	501	117	1633	137	70	207	1426
	1/3	1006	388	110	1504	166	87	253	1251
	2/2	869	270	92	1231	148	80	228	1003
	3/1	856	199	75	1130	173	127	300	830
	4/0	900	135	75	1110	264	134	398	712
'Eriparza'	0/4	1008	460	112	1580	169	47	216	1364
	1/3	959	385	108	1452	187	62	249	1203
	2/2	940	306	108	1354	190	81	271	1083
	3/1	827	186	77	1090	177	116	293	797
	4/0	745	89	90	924	250	133	383	541
'Carioca'	0/4	1520	715	152	2387	193	75	268	2119
	1/3	923	475	125	1523	181	91	272	1251
	2/2	897	284	102	1283	174	100	274	1009
	3/1	908	246	92	1246	203	134	337	909
	4/0	809	176	119	1104	227	159	386	718

QUADRO 10 - Composição química da raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três re petições)

Cultivares	Proporções NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻	Cátions Acumulados (µmol.g ⁻¹)			Anions inorgânicos Acumulados (µmol.g ⁻¹)			Total (A)	C-A
		K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Total (C)	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²		
'Rio	0/4	1856	220	212	2288	613	231	844	1444
	1/3	1759	180	187	2126	668	275	943	1183
	2/2	1743	137	79	1959	697	231	928	1031
	3/1	1249	132	62	1443	487	237	724	719
'Tibagi'	4/0	1223	52	58	1333	558	247	805	528
	0/4	1654	242	171	2067	464	112	576	1491
	1/3	1767	212	129	2150	729	191	920	2150
	2/2	1602	170	96	1868	681	184	865	1003
'Eriparza'	3/1	874	135	67	1176	539	200	739	437
	4/0	826	55	62	943	552	172	723	220
	0/4	1851	282	287	2420	635	225	860	1560
	1/3	1685	215	162	2062	787	253	1040	1022
'Carioca'	2/2	1782	150	79	2011	710	228	938	1073
	3/1	1292	135	67	1494	652	234	886	608
	4/0	1213	107	67	1387	532	216	748	639

tração de ânions (A). Este efeito ocorreu para todas as culturas, tanto na parte aérea quanto na raiz, se bem que o efeito foi muito menos pronunciado para os ânions, notadamente nas raízes. Como conseqüência, a diferença C - A decresce acentuadamente com o aumento da proporção amônio/nitrato. Segundo SMIT & WOLDENDORP (132) e TROELSTRA (140), o valor de C - A é um bom indicador da forma de nitrogênio predominantemente disponível para as plantas no campo.

Esta variação no balanço de cátion/ânion na planta, de forma geral, está de acordo com vários resultados da literatura, DIBB & WELCH (30); BLACQUIÈRE et alii (11); VAN BEUSICHEM et alii (143) e KIRKBY (74), e resultam do destacado papel do nitrogênio na manutenção do balanço iônico nas plantas. Na nutrição predominantemente nítrica, a absorção de ânions tende a suplantar a de cátions, situação em que a eletroneutralidade da solução externa é mantida por exclusão de íons OH^- ou HCO_3^- . Quando amônio é a forma de nitrogênio predominante, a absorção total de cátions excede a de ânions e, neste caso, a eletroneutralidade é mantida pelo efluxo de íons H^+ . Durante a fase de crescimento das plantas, observou-se claramente que sob nutrição nítrica a solução externa alcalinizou, enquanto que sob nutrição amoniacal ocorreu acidificação (Figura 11).

Após a absorção, o amônio é assimilado com produção de íons H^+ , enquanto que a assimilação de nitrato produz íons OH^- . Conforme destacado, grande parte dos íons H^+ ou OH^- são excretada

dos para a solução externa, visando a manutenção da eletroneutralidade. As cargas negativas devidas a excesso de oxidrilas no citoplasma das células da raiz ou parte aérea são transferidas para metabólitos orgânicos estáveis, notadamente ácidos orgânicos. Segundo vários estudos, a diferença C - A dá uma boa indicação do acúmulo de ácido orgânico na planta, KIRKBY (74) e VAN BEUSICHEM et alii (143).

Neste estudo, com relação à diferença C - A, é interessante notar que para todas as cultivares, com suprimento de amônio e nitrato em igual proporção, condição em que se obteve máximo crescimento (Figura 10) e máxima eficiência de utilização (Figura 18), o acúmulo de ânion orgânico, tanto na parte aérea quanto na raiz, se situou em torno de $1000 \mu\text{mol. g}^{-1}$ matéria seca (Quadros 9 e 10). Portanto, acima ou abaixo deste valor, tem-se uma absorção de luxo ou deficiente, respectivamente, principalmente para os cátions.

O efeito antagônico do amônio sobre a absorção de cátions, especialmente K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} , nem sempre apresenta a mesma magnitude. Segundo GIGON & RORINSON (57), espécies tolerantes ao amônio são capazes de manter elevada absorção de K^+ sob nutrição amoniacal, enquanto que as não-tolerantes não são capazes. Segundo BLACQUIÈRE et alii (11), *P. lanceolata* e *P. major* apresentaram o mesmo teor de K^+ na parte aérea, independente da forma de nitrogênio. Apenas a concentração de Mg^{+2} foi significativamente reduzida nestas duas cultivares quando supridas com amônio. Segun

do dados de KRAJINA et alii (78), *Pinus contorta*, espécie que prefere amônio sobre nitrato, não apresentou redução na absorção de Mg^{+2} e Ca^{+2} , enquanto que *Pseudotsuga menziessi* e *Typha plicata*, coníferas que preferem nitrato sobre amônio, mostraram severos sintomas de deficiência de Mg^{+2} e Ca^{+2} sob nutrição amoniacal.

No presente estudo, considerando-se o máximo crescimento das cultivares com o suprimento de iguais quantidades de amônio e nitrato, observa-se que o efeito prejudicial da predominância do amônio na solução, em termos de aquisição de nutrientes, se deveu principalmente à redução na aquisição de cálcio (Quadros 9 e 10). Sabe-se que a absorção de cálcio ocorre quase que exclusivamente nas partes novas das raízes, exigindo, portanto, constante proliferação do sistema radicular. A já destacada modificação na morfologia e proliferação do sistema radicular destas cultivares, quando supridas predominantemente com amônio, pode explicar a severa restrição na absorção de cálcio. Todavia, a nível de campo, considerando-se a limitada mobilidade do K^{+} no solo até a superfície das raízes, espera-se grande prejuízo para a aquisição também de K^{+} , conforme observado por DIBB & WELCH (30) para o milho. Em solução nutritiva, dada a constante recirculação dos nutrientes, o fator difusão é eliminado.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo verificou-se que o suprimento de ambas as formas de nitrogênio, nitrato e amônio, é de grande importância para o adequado crescimento inicial das cultivares de feijoeiro avaliadas. Mais especificamente, o suprimento de ambas as formas de nitrogênio em igual proporção resultou em máximo crescimento, assim como na máxima eficiência de utilização para cada cultivar. Nesta situação, comparada com a cultivar 'Carioca' e com a 'Eriparza', a cultivar 'Rio Tibagi' mostrou-se a menos eficiente em utilizar o nitrogênio.

Entretanto, é importante destacar que as cultivares estudadas diferiram quanto à eficiência de utilização do nitrogênio, quando se alterou a predominância da forma nitrogenada na solução nutritiva. Com o predomínio de nitrato, as cultivares 'Carioca' e 'Rio Tibagi' mostraram maior e menor eficiência, respectivamente, enquanto que com o predomínio de amônio a situação foi exatamente inversa. Considerando-se que, em condições normais de cultivo no campo, as proporções relativas de suprimento de nitrato e amônio variam com a prática de adubação e com a taxa de nitrificação do solo, este comportamento observado deve refletir-se na produção

destas cultivares, quando do cultivo normal no campo.

Com predominância de amônio na solução nutritiva, observou-se redução no crescimento das raízes, acompanhada de alterações morfológicas, tornando-as mais curtas, engrossadas e escuras, com conseqüente comprometimento na aquisição de nutrientes, notadamente de cálcio. Em condições de campo, esta redução no crescimento deve diminuir, também de forma acentuada, a aquisição de fósforo e potássio, considerando-se o fator difusão.

De maneira geral, o metabolismo do nitrogênio, avaliado apenas pelo fracionamento do nitrogênio total em nitrogênio nítrico, nitrogênio orgânico solúvel e nitrogênio insolúvel, não permitiu explicar a diferença de crescimento das cultivares quando submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato. Neste aspecto, merece destaque o fato de que todas as tendências observadas indicaram que o feijoeiro apresenta maior capacidade de redução do nitrato na parte aérea, resultando, portanto, em baixa capacidade de elevar o pH da rizosfera.

6. RESUMO

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, sob condições de cultivo em solução nutritiva, com o objetivo de avaliar a resposta das cultivares de feijoeiro 'Rio Tibagi', 'Eriparza' e 'Carioca' a nitrogênio nítrico e determinar o efeito da presença de amônio, em diferentes proporções amônio/nitrato, no crescimento, assimilação e utilização do nitrogênio na fase inicial de crescimento. No primeiro experimento, avaliou-se a resposta destas cultivares a 0, 1, 2, 4 e 8 mM $N-NO_3^-$ e, no segundo, a resposta a 4 mM de nitrogênio nas proporções de amônio/nitrato: 0/4, 1/3, 2/2, 3/1 e 4/0. Em ambos os experimentos determinaram-se peso da matéria seca de raiz, caule e folha, área foliar e teores de N-total, N-nítrico e N-orgânico solúvel, sendo que no segundo experimento determinaram-se também os teores de P, S, Ca, Mg e K nas diferentes partes da planta.

Com o suprimento de apenas nitrogênio nítrico observou-se, para todas as cultivares, aumento na produção de matéria seca até 4 mM $N-NO_3^-$, com redução após este nível. A maior eficiência de utilização do nitrogênio também ocorreu a 4 mM $N-NO_3^-$, sendo que a cultivar 'Rio Tibagi' mostrou-se menos eficiente que as

demais, em todos os níveis de nitrogênio. 'O suprimento de ambas as formas de nitrogênio, em igual proporção, resultou em maior produção de matéria seca e em maior eficiência de utilização do nitrogênio para todas as cultivares. Por outro lado, com o predomínio de nitrato, as cultivares 'Carioca' e 'Rio Tibagi' mostraram maior e menor eficiência de utilização, respectivamente, enquanto que com o predomínio de amônio a situação foi exatamente inversa! Um acentuado aumento da relação R/P, condição que pode implicar em maior capacidade de aquisição de nutrientes e de água, foi observado com o decréscimo da concentração de nitrogênio nítrico abaixo de 2 mM. Todavia, aumentos nesta relação, sem comprometimento do crescimento da parte aérea do feijoeiro, também foram observados a 4 mM N, desde que o amônio se faça presente, em torno de 30% do nitrogênio total disponível. De maneira geral, o metabolismo do nitrogênio, avaliado apenas pelo fracionamento do nitrogênio total em nitrogênio nítrico, nitrogênio orgânico solúvel e nitrogênio insolúvel, não permitiu explicar a diferença de crescimento das cultivares, quando estas foram submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato. Finalmente, destaca-se que o efeito prejudicial da predominância do amônio na solução pareceu estar mais ligado às condições de acidificação na rizosfera, a qual resultou em sérios prejuízos ao sistema radicular com conseqüente redução na absorção de nutrientes, notadamente o cálcio.

7. SUMMARY

This study was carried out with the aim to evaluate the response of bean cultivars ('Rio Tibagi', 'Eriparza', and 'Carioca') to nitrate nitrogen and to determine the ammonium effect at different ammonium/nitrate proportions on the growth, assimilation and nitrogen utilization efficiency by these cultivars. At first, it was evaluated the response of these cultivars to 0, 1, 2, 4 and 8 mM N-NO_3^- , and in a second experiment, the response to 4 mM nitrogen at different ammonium/nitrate proportions (0/4, 1/3, 2/2, 3/1 and 4/0). In both experiments it was determined dry matter production, total nitrogen, nitrate nitrogen and soluble organic nitrogen as well as P, S, Ca, Mg and K contents of the plants.

With the supply of only nitrate nitrogen, it was observed increase in the dry matter production by all cultivars until 4 mM N-NO_3^- , with reduction thereafter. For all cultivars, the highest nitrogen utilization efficiency also occurred at 4 mM N-NO_3^- . 'Rio Tibagi' cultivar showed the lowest efficiency at all nitrogen levels. The supply of both nitrogen forms to the nutrient solution in equal proportion resulted in higher nitrogen utilization efficiency than when only one of the nitrogen forms was supplied. When nitrate

supplied 50% or more of the nitrogen the 'Carioca' and 'Rio Tibagi' cultivars showed the highest and the lowest nitrogen utilization efficiency, respectively, while with ammonium supplying 50% or more of the nitrogen the situation was opposite. A pronounced increase of root/shoot ratio was observed with the decrease of nitrogen concentration below 2 mM N-NO₃⁻. However, increase in such a ratio, without compromising the growth of bean shoot, was also observed at 4 mM of nitrogen, since ammonium constitutes 25% of the total nitrogen supplied. Generally speaking, nitrogen, assimilation evaluated by fractionating total nitrogen in nitrate nitrogen, soluble organic nitrogen and insoluble nitrogen did not allow to explain the difference in growth of the cultivars as well as the difference in nitrogen utilization efficiency. The detrimental effect of supplying only ammonium to those cultivars seems to be related to the acidification of the nutrient solution which resulted in serious damages to the root system. Such a damage resulted in a drastic reduction of nutrient absorption, specially calcium.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELOSO, A.G.X.; LEAL, R.Y. & ROSSIELLO, R.O.P. Denitrificação e imobilização de nitrogênio em solo tratado com vinhaça. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 7(1):263-8, jan./abr. 1983.
02. ANDERSON, E.L.; KAMPRATH, E.J. & MOLL, R.H. Nitrogen fertility effects on accumulation, remobilization, and partitioning of N and dry matter in corn genotypes differing in prolificacy. Agronomy Journal, Madison, 76(3):397-404, May/June 1984.
03. ANDREEVA, T.F.; AVDEEVA, T.A.; VLASOVA, M.P. & NICHIPOROVICH, A.A. Effect of nitrogen nutrition on the structure and function of the photosynthetic apparatus in plants. Soviet Plant Physiology, New York, 18:591-7, 1971.
04. ATKINSON, C.J. Nitrogen acquisition in four coexisting from an upland acidic grassland. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 63(4):375-87, Apr. 1985.

05. BARKER, A.V.; VOLK, R.Y. & 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. 1966.
06. BAR-YOSEF, B. & KAFKAFI, U. Rates of growth and nutrient uptake in irrigated corn as affected by N and P fertilization. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 36(6):931-5, Nov./Dec. 1972.
07. BEEVERS, L. & HAGEMAN, R.H. Nitrate and nitrite reduction in the biochemistry of plants. In: MIFLIN, B.J.; ed. A comprehensive treatise. New York, Academic Press, 1980. v.5.
08. BEKELE, T.; CINO, B.J.; EHLERT, P.A.I.; VAN DER MASS, A.A. & VAN DIEST, A. An evaluation of plant-borne factors promoting the solubilization of alkaline rock phosphates. Plant and Soil, The Hague, 75(3):361-78, Dec. 1983.
09. BELOW, F.E. & GENTRY, L.E. Nitrogen source influences nutrient uptake. Better Crops with plant food, Atlanta, :18-20, Spring 1988.
10. BENNETT, W.F.; PESEK, J. & HANWAY, J.J. Effect of nitrate and ammonium on growth of corn in nutrient sand culture. Agronomy Journal, Madison, 56(3):342-5, May/June 1964.
11. BLACQUIÈRE, T.; HOFSTRA, R. & STULEN, I. Ammonium and nitrate nutrition in *Plantago lanceolata* e *Plantago major* L. ssp. *major*. Plant and Soil, The Hague, 104:129-41, 1987.

12. BLAIR, G.J. & CORDERO, S. The phosphorus efficiency of three annual legumes. Plant and Soil, The Hague, 50:387-98, 1978.
13. BLANCHAR, R.W.; REHM, G. & CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acids. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29(1):71-2, Jan./Feb. 1965.
14. BREMNER, J.M. & EDWARDS, A.P. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29(5):504-7, Sept./Oct. 1965.
15. BRETELER, H.; HANISCH TEN CATE, C.H. & NISSEN, P. Time course of nitrate uptake and nitrate reductase activity in nitrogen-depleted dwarf bean. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 47:49-55, July 1979.
16. _____ & LUCZAK, W. Utilization of nitrite and nitrate by dwarf bean. Planta, Berlin, 156(3):226-32, Dec. 1982.
17. _____ & NISSEN, P. Effect of exogenous and endogenous nitrate concentration on nitrate utilization by dwarf bean. Plant Physiology, Maryland, 70(3):754-9, Sept. 1982.
18. _____ & SIEGERIST, M. Effect of ammonium on nitrate utilization by roots of dwarf bean. Plant Physiology, Maryland, 75(4):1099-103, Aug. 1984.

19. BRETELER, H. & SMIT, A.L. Effect of ammonium nutrition on uptake and metabolism of nitrate in wheat. Netherlands Journal of Agricultural Science, Wageningen, 22:73-81, 1974.
20. BUBAN, T.; VARGA, A.; TROMP, J. KNEGT, E. & BRUINSMA, J. Effects of ammonium and nitrate nutrition on the level of zeatin and amino nitrogen in xylem sap of apple rootstocks. Z. Pflanzenphysiol., 89:289-95, 1978.
21. BURTON, J.C. ALLEN, O.N. & BERGER, K.C. Effects of certain mineral nutrients on growth and nitrogen fixation of inoculated bean plants, *Phaseolus vulgaris*, L. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington, 9:187-90, 1961.
22. BUTZ, R.G. & JACKSON, W.A. A mechanism for nitrate transported and reduction. Phytochemistry, Oxford, 16(4):409-17, 1977.
23. CARDOSO, A.A.; FONTES, L.A.N. & VIEIRA, C. Efeito de fontes e doses de adubo nitrogenado sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). Revista Ceres, Viçosa, 25(139):292-5, maio/jun. 1978.
24. CATALDO, D.A.; HAARON, M.; SCHRADER, L.E. & YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue of nitration of salicylic acid. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 6:71-90. 1975.
25. CHAN, W. & MACKENZIE, A.F. Effects of shading and nitrogen on growth of corn (*Zea mays*, L.) under field conditions. Plant and Soil, The Hague, 36:59-70, 1972.

26. CLARKE, A.L. & BARLEY, K.P. The uptake of nitrogen from soils in relation to solute diffusion. Australian Journal of Soil Research, London, 6:75-9, 1968.
27. COLASANTE, L.O. & COSTA, J.A. Índice de colheita e rendimento biológico na comparação da eficiência de variedades de soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 16(2):225-30, mar. 1981.
28. 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.
29. CRIST, J.W. & STOUT, G.J. Relation between top and root size in herbaceous plants. Plant Physiology, Bethesda, 4:63-85, 1929.
30. DIBB, D.W. & WELCH, L.F. Corn growth as affected by ammonium vs. nitrate absorbed from soil. Agronomy Journal, Madison, 68(1):89-94, Jan./Feb. 1976.
31. DODDEMA, H.; HOESTRA, J.J. & FEENSTRA, W.I. Uptake of nitrate by mutants of *Arabidopsis thaliana*, disturbed in uptake or reduction of nitrate. I. Effect of nitrogen source during growth on uptake of nitrate and chlorate. Plant Physiology, Maryland, 43:343-50, 1978.
32. DOUGLAS, L.A. & WEAVER, R.W. Partitioning of nitrogen-15-labelled biologically fixed nitrogen and nitrogen-15-labelled nitrate in cowpea during post development. Agronomy Journal, Madison, 78(3):499-502, May/June 1986.

33. DUBOIS, J.D. & BURRIS, R.H. Comparative study of N and distribution in three lines of common bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) at early pod filling stage. Plant and Soil, Dordrecht, 93 (1):79-86, 1986.
34. EAGLESHAM, A.R.J.; SASSOUNA, S. & SEEGERS, R. Fertilizer-N effects on N₂ fixation by cowpea and soybean. Agronomy Journal, Madison, 75(1):61-6, Jan./Feb. 1983.
35. EDJE, O.T.; MUGHOGHO, L.K. & AYONOADU, U.W.U. Response of dry beans to varying nitrogen levels. Agronomy Journal, Madison, 67:251-5, Mar./Apr. 1975.
36. EIRA, P.A. Transformação de nitrogênio em solo sob vegetação de *Digitaria decumbens*. Rio de Janeiro, UFRRJ, 1977. p.85. (Tese MS).
37. FAGERIA, N.K. & BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(12):1709-12, dez. 1982.
38. FEITOSA, C.T.; RONZELLI JUNIOR, P.; ALMEIDA, L.D.A.; HIROCE, R. & JORGE, J.P.N. Adubação NP para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) na presença e ausência de calcário. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4(3):156-9, set./dez. 1980.
39. FELIX, J.F.; OBATON, M.; MESSIAEN, C.M. & SALSAC, L. Nitrate reductase and nitrogenase activities of common beans (*Phaseolus vulgaris*, L.) from different geographic locations. Plant and Soil, The Hague, 63:427-38, Nov./Dec. 1981.

40. FERNANDES, M.S. Absorção e metabolismo de nitrogênio em plantas. Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, 1978. 50p. (Boletim Técnico, 1).
41. _____ & ROSSIELLO, R.O.P. Aspectos do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas tropicais. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1, Nova Odessa, 1985. Anais... Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1986. p.92-123.
42. _____ & _____. Uso de NH_4^+ e de um inibidor de nitrificação na adubação do milho (*Zea mays*, L.). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3(2):77-82, maio/ago. 1979.
43. FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELLOS, C.A. & SANTOS, H.L. Adubação nitrogenada no estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16, Ilhéus, 1984. Anais... Ilhéus, Centro de Pesquisas do Cacau, 1985. p.107-24.
44. FRANCO, A.A.; FONSECA, O.O.M. & MARRIEL, I.E. Efeito do nitrogênio mineral da atividade da nitrogenase e nitrato redutase durante o ciclo da soja no campo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(1):110-4, jan./abr. 1978.
45. _____ & MUNNS, D.N. Nodulation and growth of *Phaseolus vulgaris*, L. in solution culture. Plant and Soil, The Hague, 66:149-60, 1982.

46. FRIED, M.; ZSOLDOS, F.; VOSE, P.B. & SHATOKHIM, I.L. Characterizing the NO_3^- and NH_4^+ uptake process of rice roots by use of ^{15}N labelled NH_4NO_3 . Physiologia Plantarum, Copenhagen, 18:313-20, 1965.
47. FRITH, G.J.T. Effect of ammonium nutrition on the activity of nitrate reductase in roots of apple seedlings. Plant and Cell Physiology, Kyoto, 13(6):1085-90, 1975.
48. FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Relatório técnico anual - 1977. Londrina, 1978. 260p.
49. _____. Relatório técnico anual - 1979. Londrina, 1980. 258p.
50. FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C. & AZZINI, L.E. Comportamento diferencial de linhagens de arroz na absorção e utilização de nitrogênio em solução nutritiva. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 10(1):51-9, jan./abr. 1986.
51. FURTINI NETO, A.E. Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio por diferentes espécies de eucalipto. Lavras, ESAL, 1988. 95p. (Tese MS).
52. GANMORE-NEUMANN, R. & KAFKAFI, U. Root temperature and percentage $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ effect on tomato development. 1. Morphology and growth. Agronomy Journal, Madison, 72(5):758-61, Sept./Oct. 1980.

53. GARCIA, A. Estudo do índice de colheita e de outras características agronômicas de dez cultivares de soja (*Glycine max* (L) Merrill), e de suas correlações com a produção de grãos, em duas épocas de semeadura. Viçosa, UFV, 1979. 76p. (Tese MS).
54. GASHAW, L. & MUGWIRA, L.M. Ammonium-N and nitrate-N effects on the growth and mineral compositions of triticale, wheat, and rye. Agronomy Journal, Madison, 73(1):47-51, Jan./Feb. 1981.
55. GASSER, J.K.R. Transformations, leaching and uptake of fertilizer nitrogen applied in autumn and spring to winter wheat on a heavy soil. Journal of the Science Food Agriculture, England, 12:375-80, Dec. 1961.
56. GERLOFF, G.C. Plants efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus and potassium. In: WRIGHT, M.J., ed. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. New York, Cornell University-Agricultural Experiment Station, 1976. p.161-73.
57. GIGON, A. & RORISON, I.H. The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and ammonium nitrogen. The Journal of Ecology, Oxford, 60:93-102, 1972.
58. GIVAN, C.V. Metabolic detoxification of ammonia in tissues of higher plants. Phytochemistry, Oxford, 18:375-82, 1979.
59. GOEPFERT, C.F. Experimento com nitrogênio e fósforo em cinco cultivares de feijoeiro. In: REUNIÃO DA COMISSÃO TÉCNICA DO FEIJÃO, 7, Porto Alegre, 1970. Súmula dos trabalhos fitotécnicos na cultura do feijão... Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1970. p.2-8.

60. GRAHAM, P.H. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*, L.: a review. Field Crops Research, Amsterdam, 4:93-112, 1981.
61. GUSS, A. & DOBEREINER, J. Efeito da adubação e da temperatura do solo na fixação do nitrogênio em feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira; Série Agronomia, Rio de Janeiro, 7:87-92. 1972.
62. HAYNES, R.J. & GOH, K.M. Ammonium and nitrate nutrition of plants. Biological Reviews, Cambridge, 53:465-510, 1978.
63. HUBER, D.M.; WARREN, H.L.; NELSON, D.W. & TSAI, C.V. Nitrification inhibitors. New tools for food production. Bio Science, Washington, 27:523-9, 1977.
64. HUNGRIA, M.; NEVES, M.C.P. & VICTORIA, R.L. Assimilação do nitrogênio pelo feijoeiro. I. Atividade da nitrogenase, da reductase do nitrato e transporte do nitrogênio na seiva do xilena. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 9(3):193-200, set./dez. 1985.
65. _____ & RUSCHEL, A.P. Eficiência da fixação biológica do nitrogênio em *Phaseolus vulgaris*, L. II. Efeito da aplicação de N mineral. In: REUNIÃO LATINOAMERICANA DE *Rhizobium*, 11, Lima, 1982. Memórias... Lima, ALAR, 1982. p.80.
66. IGUE, T. Interação em grupos de experimentos de adubação do feijoeiro com N, P e K, seguindo o esquema fatorial 3x3x3. Piracicaba, ESALQ, 1968. 81p. (Tese MS).

67. JACKSON, W.A. Nitrate acquisition by higher plants process in the root system. In: NEISEN, D.R. & MacDONALD, Y.G., eds. Nitrogen in the environment. New York, Academic Press, 1978. p.45-88.
68. _____; BARKER, A.V. & VOLK, R.Y. 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. 1966.
69. _____; FLESHER, D. & HAGEMAN, R.H. Nitrate uptake by dark-grown corn seedlings: some characteristics of apparent induction. Plant Physiology, Maryland, 51(1):120-7, Mar. 1973.
70. _____; VOLK, P.J. & ISRAEL, D.W. Energy supply and nitrate assimilation in root systems. In: TANAKA, A., ed. Carbon nitrogen interaction in crop production. Tokyo, Japan Society for the Promotion of Science, 1981. p.25-40.
71. JANSSEN, K.A. & VITOSH, M.L. Effect of lime, sulfur, and molybdenum on N₂ fixation and field of dark red kidney beans. Agronomy Journal, Madison, 66:736-40, Nov./Dec. 1974.
72. JARVIS, S.C. The effects of low, regulated supplies of nitrate and ammonium nitrogen on the growth and composition of perennial ryegrass. Plant and Soil, The Hague, 100(1/3):99-112, July 1987.

73. KELLY, J. & LAMBERT, M.J. The relationship between sulphur and nitrogen in the foliage of *Pinus radiata*. Plant and Soil. The Hague, 37:395-407, 1972.
74. 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, Mar. 1968.
75. _____. Plant growth in relation to nitrogen supply. Ecology Bulletin, Estocolmo, 33:249-67, 1981.
76. _____ & 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.
77. _____ & MENGEL, E. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, ureia or ammonia nutrition. Plant Physiology, Maryland, 42(1):6-14, Jan. 1967.
78. 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 & Biochemistry, Oxford, 5:143-7, 1973.
79. KROGMANN, D.W.; JAGENDORF, A.T. & AVRON, M. Uncouplers of spinach chloroplast photosynthetic phosphorylation. Plant Physiology, Maryland, 34(3):272-7, May 1959.

80. KUIPER, D. Genetic differentiation in *Plantago major*: growth and respiration and their role in phenotypic adaptation. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 57:222-30, 1983.
81. LEWIS, O.A.M.; JAMES, D.M. & HEWITT, E.I. Nitrogen assimilation in barley (*Hordeum vulgare*, L. cv. Mazurka) in response to nitrate and ammonium nutrition. Annals of Botany, New York, 49(1):39-9, Jan. 1982.
82. LIAO, C.F.H. Devarda's alloy method for total nitrogen determination. Soil Science Society of America Journal, Madison, 45(5):852-5, Sept./Oct. 1981.
83. LUISI, M.V.V.; ROSSIELLO, R.O.P. & FERNANDES, M.S. Formas de nitrogênio e níveis de potássio sobre a absorção de fósforo por milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 18(4):343-50, abr. 1983.
84. LYCKLAMA, J.C. The absorption of ammonium and nitrate by perennial ryegrass. Acta Botanica Neerlandica, Leiden, 12:361-423, 1963.
85. MacKOWN, C.T.; JACKSON, W.A. & VOLK, R.J. Restricted nitrate influx and reduction in corn seedlings exposed to ammonium. Plant Physiology, Maryland, 69(2):353-9, Feb. 1982.
86. MAGALHÃES, J.R. & WILCOX, G.E. Tomato growth and mineral compositions as influenced by nitrogen form and light intensity. Journal of Plant Nutrition, New York, 6:941-56, 1983.

87. MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1, Viçosa, 1971. Anais... São Paulo, Ministério da Agricultura, 1972. p.209-42
88. MARANVILLE, J.W.; CLARK, R.B. & ROSS, W.M. Nitrogen efficiency in grain sorghum. Journal of Plant Nutrition, New York, 2(5):577-89, 1980.
89. MARCUS-WYNER, L. Influence of ambient acidity on the absorption of NO_3^- and NH_4^+ by tomato plants. Journal of Plant Nutrition, New York, 6:657-6, 1983.
90. MAZE, P. Recherches sur l'influence de l'azole nitrique et de l'azole ammoniacal sur developpement du mais. Annales de l'Institut Pasteur, 14:26-41, 1900.
91. MAYNARD, D.N. & BARKER, A.V. Studies on the tolerance of plants to ammonium nutrition. Journal of the American Society for Horticultural Science, Alexandria, 94(3):235-9, May 1969.
92. _____ ; _____ & LACHMAN, W.H. Influence of potassium on the utilization of ammonium by tomato plants. Proceedings of the American Society for Horticultural, Greensboro, 92:537-42, 1968.
93. McELHANNON, W.S. & MILLS, H.A. Influence of percent $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ on growth, N absorption, and assimilation by lima beans in solution culture. Agronomy Journal, Madison, 70(6):1027-32, Nov./Dec. 1978.

94. MELGES, E. Crescimento, conversão da energia solar e nodulação da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob quatro níveis de radiação solar, em Viçosa, Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1983. 78p. (Tese MS).
95. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Berna, Internacional Potash Institute, 1982. 65 5p.
96. MICHAEL, G.; MARTIN, P. & OWASSIA, I. The uptake of ammonium nitrate in relation to the carbohydrate supply of the roots. In: KIRKBY, E.A., ed. Nitrogen nutrition of the plant. England, University of the Leeds, 1970. p.22-9.
97. _____; SCHUMACHER, H. & MARSCHNER, H.G. Uptake of ammonium and nitrate and their distribution in the plant. Zeitschrift fuer Pflanzenernahrung, Bodenkunde, 110:225-8, 1965.
98. MINOTTI, P.L.; WILLIAMS, D.C. & JACKSON, W.A. The influence of ammonium on nitrate reduction in wheat seedlings. Planta, Berlin, 8:9-14, 1969.
99. _____; _____; _____. Nitrate uptake by wheat as influenced by ammonium and other cations. Crop Science, Madison, 9(1):9-14, Jan./Feb. 1969.
100. MOLL, R.H.; JACKSON, W.A. & PAN, W.L. Nitrate uptake and partitioning by corn root systems. Plant Physiology, Maryland, 77(3):560-6, Mar. 1985.
101. MUNK, H. The nitrification of ammonium salts in acid solis. Landwirtschaftliche Forschung, Frankfurt, 11:150-6, 1958.

102. MUNN, D.A. & JACKSON, W.A. Nitrate and ammonium uptake by rooted cuttings of sweet potato. Agronomy Journal, Madison, 70(2):312-6, Mar./Apr. 1978.
103. MUNTZ, A. Recherches experimentales sur la culture et l'exploitation des vignes. Annales Agronomiques, Versailles, 2:161-7, 1983.
104. MYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & MASCARENHAS, H.A.A. Modo e época de aplicação de nitrogênio na cultura de feijoeiro. Bragantia, Campinas, 22:511-9, set. 1963.
105. NITTLER, D. & KENNY, J. Effect of ammonium to nitrate ratio on growth and anthocyanin development of perennial ryegrass cultivars. Agronomy Journal, Madison, 68(4):680-2, July/Aug. 1976.
106. OAKS, A.; STULEN, I. & BOESEL, I.L. Influence of aminoacids and ammonium on nitrate reduction in corn seedlings. Canadian Journal of Botany, Ottawa, 57(17):1824-9, Sept. 1979.
107. OLIVEIRA, L.E.M. de. Comportamento fisiológico de plantas de cana de açúcar (Saccharum sp.) sob condições de deficiência hídrica: alterações da assimilação do nitrato e mobilização de açúcares. Campinas, UNICAMP, 1985. 126p. (Tese Doutorado).
108. OSÓRIO, C.A.S. & FREIRE, J.R.J. Experimento sobre os efeitos do nitrogênio mineral na simbiose *Phaseolus vulgaris/Rhizobium phaseoli*. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 18(2):67-77, 1982.

109. O'SULLIVAN, J.; GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. Variations in efficiency of nitrogen utilization in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown under nitrogen stress. Journal of the American Society for Horticultural Science, New York, 99(6):543-7, 1974.
110. PAN, W.L.; JACKSON, W.A. & MOLI, R.H. Nitrate uptake and partitioning by corn root systems: Differential effects of ammonium among genotypes and stages of root development. Plant Physiology, Maryland, 77(3):560-6, Mar. 1985.
111. PAZ, L.G. da; RUSCHEL, A.P. & MALAVOLTA, E. Efeito do N combinado, do pH e dos níveis de P, Ca, Al e Mn na solução no crescimento e fixação do N₂ pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). Anais da ESALQ, Piracicaba, 39:189-201, 1982.
112. _____; _____ & _____. Influência do nitrato na nodulação e fixação do nitrogênio pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivado em solução nutritiva. Anais da UFRPE, Recife, 4:179-92, 1979.
113. PECK, N.H. & MacDONALD, G.E. Snap bean plant responses to nitrogen fertilization. Agronomy Journal, Madison, 76:247-53, Mar./Apr. 1984.
114. PONS, A.L. Efeito da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica sobre o rendimento de feijão em dois solos do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO 17, Manaus, 1979. Resumos... Campinas, SBCS, 1979. p.51.

115. PONS, A.L.; GOEPFERT, C.F. & OLIVEIRA, F.C. Efeito da adubação nitrogenada em feijoeiro: II - Solo Vila. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 11(2):259-66, 1975.
116. PURITCH, G. S. & BARKER, A.V. Structure e function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. Plant Physiology, Maryland, 42(9):1229-38, Sept. 1967.
117. RADIN, J.W. Differential regulation of nitrate reductase induction in roots and shoots of cotton plants. Plant Physiology, Maryland, 55(2):178-82, Feb. 1975.
118. RAGAB, S.M. Phosphorus effects on zinc translocation in maize. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 11:1105-27, 1980.
119. RAO, K.P. & RAINS, D.W. Nitrate absorption by barley. Plant Physiology, Maryland, 57(1):59-62, Jan. 1976.
120. REISENAUER, H.M. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants. In: NEILSEN, D.R. & MacDONALD, J.G., ed. Nitrogen in the environment. New York, Academic Press, 1978. p.157-70.
121. RUFTY, J.R.; JACKSON, W.A. & RAPER JR, C.D. Inhibition of nitrate assimilation in roots in the presence of ammonium: the moderating influence of potassium. Journal of Experimental Botany, England, 33(134):1122-37, Sept. 1982.
122. RUNGE, M. Physiology and ecology of nitrogen nutrition. In : LANGE, O.L. et alii. Physiological Plant Ecology III. Berlin, Springer Verlag, 1983. p.163-200. (Encyclopedia of Plant Physiology, New Serie 12C).

123. RUSCHEL, A.P.; SAITO, S.M.T. & TULMAN NETO, A. Eficiência da inoculação de *Rhizobium* em *Phaseolus vulgaris*, L. I. Efeito da fontes de nitrogênio e cultivares. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3(1):13-7, jan./abr. 1979.
124. SAHRAWAT, K.L. & KEENEY, D.R. Effects of nitrification inhibitors on chemical composition of plants: a review. Journal of Plant Nutrition, New York, 7:1251-88, 1984.
125. SCAIFE, A.; SARAIVA FERREIRA, M.E. & TURNER, M.K. Effect of nitrogen form on the growth and nitrate concentration of lettuce. Plant and Soil, The Hague, 94(1):3-16, July 1986.
126. SCHRADER, L.E.; DOMSKA, D.; JUNG JR. 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.). Agonomy Journal, Madison, 64(5):690-95, Sept./Oct. 1972.
127. SHANER, D.L. & BOYER, J.S. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. I. Regulation by nitrate flux. Plant Physiology, Maryland, 58(4):499-504, Oct. 1976.
- X128. SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. Journal of Plant Nutrition, Madison, 4(3):289-302, 1981.
129. SILVA, A.J. da. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) à adubação nitrogenada. Lavras, ESAL, 1988. 85 p. (Tese MS).

130. SILVA, F.L.I.M.; ROSSIELLO, R.O.P. & FERNANDES, M.S. Efeitos da nutrição amoniacal com e sem "N-serve" sobre o crescimento radicular do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, Belém, 1985. Resumos... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.104.
131. SILVEIRA, J.S.M. & SANT'ANNA, R. Efeitos de nitrato e do amônio no crescimento e fracionamento do N em capim-colonião. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 23(2):135-45, fev. 1988.
132. SMIT, A.J. & WOLDENDROP, J.W. Nitrate production in the rhizosphere of *Plantago* species. Plant and Soil, The Hague, 61(1):43-52, 1981.
133. SMITH, R.C. & EPSTEIN, E. Ion absorption by shoot tissue: kinetics of potassium and rubidium absorption by corn leaf tissue. Plant Physiology, Maryland, 39(6):992-6, Nov. 1964.
134. 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):57-61, Jan./Feb. 1974.
135. SRIVASTAVA, H.S. & ORMROD, D.P. Effects of nitrogen dioxide and nitrate nutrition on nodulation nitrogenase activity, growth, and nitrogen content of bean plants. Plant Physiology, Maryland, 81(3):737-41, July 1986.

136. TERMAN, G.L.; ALLEN, S.E. & GIORDANO, P.M. Dry matter yield-N and S concentration relationships and ratios in young corn plants. Agronomy Journal, Madison, 65(4):633-6, July/Aug. 1973.
137. TIMPO, E.E. & NEYRA, C.A. Expression of nitrate and nitrite reductase activities under various forms of nitrogen nutrition in *Phaseolus vulgaris*, L. Plant Physiology, Maryland, 72(1):71-5, May 1983.
138. TOLLEY-HENRY, L. & RARPER JR., C.D. Utilization of ammonium as a nitrogen source. Plant Physiology, Maryland, 82(1):54-60, Sept. 1986.
139. TOWNSEND, L.R. Influence of form of nitrogen and pH on nitrate reductase activity in lowbush blue-berry leaves and roots. Canadian Journal of Plant Science, Ottawa, 49:333-8, 1969.
140. TROELSTRA, S.R. Growth of *Plantago lanceolata* and *Plantago major* on a $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 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.
141. _____; VAN DIJK, C. & BLACQUIÈRE, T. Effects of N-source on proton excretion, ionic balance and growth of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner: comparison of N_2 fixation with single and mixed sources of NO_3^- and NH_4^+ . Plant and Soil, The Hague, 84:361-85, 1985.

142. UESATO, K. Effects of different forms of nitrogen sources in the culture media on the growth of *Dendrobium nobile* seedlings. Science Bulletin of the College of Agriculture, University of Ryukyus, Okinawa, 21:78-81, 1974.
143. VAN BEUSICHEM, M.L.; KIRKBY, E.A. & BAAS, R. Influence of nitrate and ammonium nutrition on the uptake, assimilation, and distribution of nutrients in *Ricinus communis*. Plant Physiology, Maryland, 86(3):914-21, Mar. 1988.
144. VAN DER HONERT, T.H. & HOOYMANS, J.J.M. On the absorption of nitrate by maize in water culture. Acta Botanica Neerlandica, Leiden, 4:376-84, 1955.
145. VINES, H.M. & WEDDING, R.T. Some effects of ammonia on plant metabolism for ammonia toxicity. Plant Physiology, Maryland, 35(6):820-5, Nov. 1960.
146. VISSER, R. de. Efficiency of root respiration and energy requirements of N assimilation in roots of *Pisum sativum*. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 65(2):209-18, Oct. 1985.
147. _____ & LAMBERS, H. Growth and the efficiency of root respiration of *Pisum sativum* as dependent on the source of nitrogen. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 58:533-43, 1983.
148. VOSE, P.B. & BREESE, E.L. Genetic variation in the utilization of nitrogen by ryegrass species *Lolium perenne*. Annals of Botany, New York, 28(110):251-70, 1964.

149. WAREING, P.F. & PATRICK, J. Source-sink relations and the partition of assimilates in the plant. In: COOPER, J.P., ed. Photosynthesis and productivity in different environments. London, Cambridge University Press, 1975. p.481-99.
150. WARNCKE, D.D. & BARBER, S.A. Ammonium and nitrate by corn (*Zea mays*, L.) as influenced by nitrogen concentration and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio. Agronomy Journal, Madison, 65(6):950-2, Nov./Dec. 1973.
151. WATSON, D.J. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. Annals of Botany, New York, 22:37-54, 1958.
152. WESTERMANN, D.T.; KLEINKOPF, G.E.; PORTER, L.K. & LEGGETT, G.E. Nitrogen sources for bean seed production. Agronomy Journal, Madison, 73(4):660-4, July/Aug. 1981.
153. WILKES, J.M. & SCARISBRICK, D.H. The effect of nitrogenous fertilizer on the seed yield of the navy bean (*Phaseolus vulgaris*, L.). Journal of Agricultural Science, England, 83:175-6, Feb. 1974.
154. YAMADA, Y. & IKEDA, M. Regulation of photorespiration by nitrogen source in nutrient solution. In: THE JAPAN SOCIETY FOR THE PROMOTION OF SCIENCE. Carbon-nitrogen interation in crop production. Tokyo, 1980. p.41-51.

APPENDICE

QUADRO 1A - Resumo da Análise de Variação de Matéria seca da parte aérea e raízes (g), relação de matéria seca raiz/parte aérea (R/P), área foliar ($\text{cm}^2 \cdot \text{pl}^{-1}$) e eficiência de utilização de N ($\text{g}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) da parte aérea por cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nitrato, na fase inicial de crescimento (Experimento I).

Fontes de Variação	GL	Q.M.			
		m.s. p.a.	m.s. raízes	R/P	area foliar
Níveis	4	18,8609**	0,3212**	0,7022**	1279385,00**
Cultivares	2	1,8346**	0,4265**	0,0340**	25381,77**
Níveis x Cultivares	8	0,1299**	0,0196**	0,0154**	18675,68**
Níveis: Cultivar 1	4	4,6452**	0,0834**	0,3839**	330648,20**
Níveis: Cultivar 2	4	7,4411**	0,1178**	0,1733**	42712,30**
Níveis: Cultivar 3	4	7,0345**	0,1594**	0,1758**	558966,90**
Resíduo	30	0,0141	0,0013	0,0002	700,70
Média		0,2468	0,6127	0,3775	520,18
C.V. (%)		4,8070	5,8950	3,7990	5,09
					6,4790

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade (teste F).

QUADRO 2A - Resumo da Análise de Variância do Fracionamento de N na folha (mg N.g^{-1} m.s.) das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nítrico, na fase inicial de crescimento (Experimento I).

Fontes de Variação		GL	Q.M.		
			N-total	N-nítrico	N-org. solúvel
Níveis		4	863,8673**	0,0366**	33,2725**
Cultivares		2	213,2536**	0,0105**	1,5968**
Níveis x Cultivares		8	47,6191**	0,0166**	1,7859**
Níveis: Cultivar 1		4	410,9807**	0,0051**	4,8528**
Níveis: Cultivar 2		4	174,5867**	0,0121**	10,5396**
Níveis: Cultivar 3		4	373,5384**	0,0360**	21,4520**
Resíduo		30	1,8504	0,0051	0,3369
Medias			31,6756	0,1915	8,0084
C.V. (%)			4,2940	6,7840	7,2470
					23,5489
					6,7940

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade (teste F)

QUADRO 3A - Resumo da Análise de Variância do Fracionamento de N no caule (mg N.g⁻¹ m.s.) das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nítrico, na fase inicial de crescimento (Experimento I).

Fontes de Variação		GL	N-total	N-nítrico	N-org. solúvel	N-insolúvel
Q.M.						
Níveis		4	456,8048**	0,3839**	47,7105**	196,0941**
Cultivares		2	4,2447**	0,0432**	2,4269**	10,3749**
Níveis x Cultivares		8	7,8666**	0,0350**	0,7407**	8,8729**
Níveis: Cultivar 1		4	126,3134**	0,1266**	20,6662**	44,9593**
Níveis: Cultivar 2		4	144,6174**	0,0347**	11,5739**	73,7490**
Níveis: Cultivar 3		4	201,6074**	0,2927**	16,9518**	95,1317**
Resíduo		30	1,3529	0,0005	0,2341	1,0998
Medias			17,0400	0,2793	6,0251	10,7356
C.V. (%)			6,826	7,9150	8,0310	9,768

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade (teste F)

QUADRO 4A - Resumo da Análise de Variância do Fracionamento de N na raiz (mg N.g⁻¹ m.s.) das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes níveis de N-nítrico, na fase inicial de crescimento (Experimento I).

Fontes de Variação		GL	N-total	N-nítrico	N-org. solúvel	N-insolúvel
Q.M.						
Níveis		4	1287,3040**	2,6932**	66,6754**	728,8784**
Cultivares		2	46,1876**	0,0636**	1,0678**	42,3260**
Níveis x Cultivares		8	50,3142**	0,0854**	7,5275**	35,5013**
Níveis: Cultivar 1		4	583,5961**	0,6527**	28,9396**	340,6194**
Níveis: Cultivar 2		4	366,4894**	0,9695**	30,5069**	166,9273**
Níveis: Cultivar 3		4	437,8466**	1,2418**	22,2839**	292,334**
Resíduo		30	4,1422	0,0024	0,4065	1,9365
Média			29,9022	0,6509	6,6773	22,7267
C.V. (%)			6,806	7,4780	9,548	6,1230

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade (teste F)

QUADRO 5A - Resumo da Análise de Variância da matéria seca da parte aérea e raízes (g), \bar{r}_e laço de matéria seca raiz/parte aérea (R/P), área foliar ($\text{cm}^2 \text{pl}^{-1}$) e eficiência de utilização de N ($\text{g}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) da p.a. pelas cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento, (Experimento II).

Fontes de Variações		GL	Q.M.			
			m.s. p.a.	m.s. raízes	R/P	área foliar
			EF. Ut. N p.a.			
Proporções		4	15,4301**	0,4511**	0,0230**	452151,00**
Cultivares		2	0,8971**	0,0071NS	0,0037**	12903,53**
Proporções x Cultivares		8	0,1714**	0,0062NS	0,0010NS	339,19NS
Proporções: Cultivar 1		4	4,5918**	-	-	-
Proporções: Cultivar 2		4	5,5248**	-	-	-
Proporções: Cultivar 3		4	5,6562**	-	-	-
Resíduo		30	0,0216	0,0028	0,0006	723,69
Media			6,4676	0,2912	0,0080	1060215,00
C.V. (%)			3,94	6,83	10,89	3,97
						35849,71
						5,76

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)
NS não significativo

QUADRO 6A - Resumo da Análise de Variância do fracionamento de N nas raízes (mg.⁻¹pl) das cultivares de feijão, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (Experimento II).

Q.M.				GL	Fontes de Variação
N-insolúvel	N-org. solúvel	N-nítrico	N-total		
92,1787**	2,7004*	0,1365**	113,8269**		Proporções
87,4282**	14,6863**	0,0009**	38,2869**		Cultivares
17,3185**	1,2791NS	0,0004**	17,5727**		Proporções x Cultivares
34,4790**	-	0,0037**	55,8917**		Proporções: Cultivar 1
53,8757**	-	0,0059**	47,7607**		Proporções: Cultivar 2
38,4610**	-	0,0048**	45,3200**		Proporções: Cultivar 3
1,3346	0,721	0,00006	2,5160		Resíduo
1957,56	155,2359	0,1046	101,497		Meda
4,68	9,04	6,80	4,63		C.V. (%)

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

NS não significativo

QUADRO 7A - Resumo da Análise de Variância do Fracionamento de N no caule (mg.g⁻¹p1) das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (Experimento II).

Fontes de Variação		Q.M.			C.V. (%)
GL	N-total	N-nítrico	N-org. solúvel	N-insolúvel	
Proporções	93,6009**	0,0296**	17,5733**	32,1892**	
Cultivares	83,6487**	0,0253**	14,5606**	35,9287**	
Proporções x Cultivares	17,4934**	0,0017**	7,6053**	13,2892**	
Proporções: Cultivar 1	24,6060**	0,0104**	7,3208**	8,0177**	
Proporções: Cultivar 2	26,1000**	0,0043**	4,2583**	29,3123**	
Proporções: Cultivar 3	77,8817**	0,0182**	21,2048**	21,4377**	
Resíduo	0,7733	0,00005	0,2961	0,5787	
Média	65,5221	0,2177	53,6390	2,3120	6,60
	4,63	3,67	7,42		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

QUADRO 8A - Resumo da Análise de Variância do Fracionamento de N na folha (mg.g⁻¹p1) das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (Experimento II).

Fontes de Variação	GL	Q.M.				C.V. (%)	Média
		N-total	N-nítrico	N-org. Solúvel	N-insolúvel		
Proporções	4	37,7841**	0,8478**	4,5163**	77,6400**		
Cultivares	2	15,8682**	0,1138**	7,6984**	0,0762NS		
Proporções x Cultivares	8	14,8871**	0,0338**	4,4331**	32,6023**		
Proporções: Cultivar 1	4	2,5923*	0,2909**	5,0593**	4,0807**		
Proporções: Cultivar 2	4	38,2033**	0,3861**	3,2998**	65,0917**		
Proporções: Cultivar 3	4	26,7627**	0,2386**	5,0234**	73,6723**		
Resíduo	30	0,7104	0,0011	0,3436	0,6831		
		48,2569	12,0125	9,9405	283,7557		
		2,24	4,81	7,04	2,85		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

NS não significativo

QUADRO 9A - Acúmulo de N-nítrico na folha, caule e raiz das cultivares de feijoeiro, submetidas a diferentes proporções de amônio/nitrato, na fase inicial de crescimento (média de três repetições). Experimento II.

Cultivares	Proporções $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	N-nítrico ($\text{mg N.g}^{-1}\text{m.s.}$)		
		folha	caule	raiz
'Rio Tibagi'	0/4	0,17	0,26	1,20
	1/3	0,11	0,17	0,71
	2/2	0,10	0,13	0,74
	3/1	0,08	0,14	0,55
	4/0	0,08	0,10	0,36
'Eriparza'	0/4	0,19	0,24	1,19
	1/3	0,12	0,17	0,63
	2/2	0,12	0,15	0,39
	3/1	0,10	0,15	0,34
	4/0	0,07	0,15	0,37
'Carioca'	0/4	0,18	0,36	1,16
	1/3	0,10	0,23	0,93
	2/2	0,08	0,23	0,54
	3/1	0,09	0,22	0,60
	4/0	0,08	0,14	0,53