

CARLOS ALBERTO DE BASTOS ANDRADE

**LIMITAÇÕES DE FERTILIDADE E EFEITO DO CALCÁRIO PARA O
FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE
MINAS GERAIS**

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

ORIENTADOR

Prof. Dr. VALDEMAR FAQUIN

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
1997**

19578
Fw 7369

CARLOS ALBERTO DE BASTOS ANDRADE

**LIMITAÇÕES DE FERTILIDADE E EFEITO DO CALCÁRIO PARA O
FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE
MINAS GERAIS**

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

ORIENTADOR

Prof. Dr. VALDEMAR FAQUIN



**MINAS GERAIS - BRASIL
1997**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da
Biblioteca Central da UFLA

Andrade, Carlos Alberto de Bastos.

Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de várzea do sul de Minas Gerais / Carlos Alberto de Bastos Andrade. -- Lavras : UFLA, 1997.

107 p. : il.

Orientador: Valdemar Faquin.

Tese (Doutorado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Feijão - Cultivo - Solo de Várzea - Minas Gerais. 2. Solo - Fertilidade. 3. Calcário. 4. Calagem. 5. Solo ácido. 6. Saturação por base. 7. Adubação. 8. Nutrição mineral. 9. Nutriente. 10. Várzea. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD- 631.4

- 635.652

- 635.65289

CARLOS ALBERTO DE BASTOS ANDRADE

LIMITAÇÕES DE FERTILIDADE E EFEITO DO CALCÁRIO PARA O FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS

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

APROVADA em 14 de Agosto de 1997



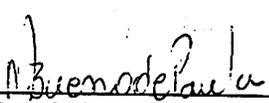
Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto
(Co-orientador)



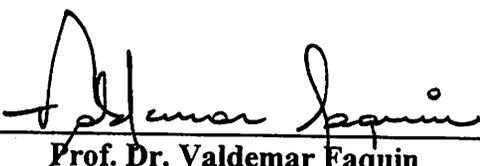
Prof. Dr. José Carlos Pinto



Prof. Dr. Arnaldo Junqueira Netto



Prof. Dra. Miralda Bueno de Paula



Prof. Dr. Valdemar Faquin
(Orientador)

A

Deus, por mais uma etapa vencida;

Aos meus pais

Luiz Américo de Andrade (in memorian) e Vilma Bastos Andrade;

A

minha esposa Jane e a minha filha Bruna

Aos

meus afilhados Eleonora, Polyana e Max.

DEDICO

1950

1951

1952

1953

1954

1955

1956

1957

1958

1959

1960

1961

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me acompanhado em todos os momentos e permitir que eu chegasse até aqui;

À Universidade Estadual de Maringá (UEM-PR) em especial ao Departamento de Agronomia (DAG), à qual estou vinculado;

À Universidade Federal de Lavras-UFLA, pela oportunidade propiciada de realizar o curso;

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e ao CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro do projeto;

Aos Departamentos de Agricultura (DAG) e Ciência do Solo (DCS) da UFLA;

Ao professor Dr. Valdemar Faquin (DCS/UFLA), pela orientação, apoio, amizade e exemplo profissional;

Aos professores Dr. Magno Pato Ramalho (DBI/UFLA), Dr. Messias José Bastos de Andrade (DAG/UFLA) e Dr. Nilton Curi (DCS/UFLA);

Aos professores Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto (DCS/UFLA), Dr. Arnaldo Junqueira Netto (DAG/UFLA), Dr. José Carlos Pintro (DAG/UEM-PR) e a pesquisadora Dr^a Miralda Bueno de Paula (EPAMIG), pelas sugestões, amizade e valiosa contribuição;

Aos professores da UFLA pelos ensinamentos transmitidos;

Aos funcionários do DAG, DCS e Biblioteca Central da UFLA e aos bolsistas de Iniciação Científica Paulo Marcos Ribeiro Veiga, Alex Texeira Andrade e Romero Francisco Vieira Carneiro pela contribuição prestada;

Ao Sr. Antônio Hernani, proprietário da fazenda de onde se retirou os solos para o trabalho;

A todos os colegas da pós-graduação, pelo companheirismo e amizade;

Aos meus irmãos também engenheiros agrônomos Messias José, Luiz Antônio, José Marcos e Wander Eustáquio, pelo apoio, estímulo e exemplo sublime de profissional e de ser humano;

A minha mãe Vilma, pelo apoio, orações e exemplo de vida;

A minha esposa Jane e minha filha Bruna, pelo amor, carinho, compreensão e por todos os momentos vividos juntos.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS DO CAPÍTULO I	vii
LISTA DE QUADROS DO CAPÍTULO II	viii
LISTA DE QUADROS DO CAPÍTULO III	x
LISTA DE QUADROS DO CAPÍTULO IV	xi
LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO III	xii
LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO IV	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Natureza dos solos de várzeas	3
2.2 Calagem para o feijoeiro	5
2.3 Nutrição mineral do feijoeiro	8
2.4 Potencial produtivo dos solos de várzeas	10
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
4 CAPÍTULO I - MACRO E MICRONUTRIENTES NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS	19
RESUMO	19
ABSTRACT	20
4.1 INTRODUÇÃO	21
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.3.1 Características químicas e físicas dos solos utilizados	26

	Página
4.3.2 Produção de matéria seca da parte aérea e de grãos	28
4.3.3 Número de vagens por planta e número de grãos por vagem	37
4.4 CONCLUSÕES	39
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
5 CAPÍTULO II - NUTRIÇÃO MINERAL DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS	43
RESUMO	43
ABSTRACT	44
5.1 INTRODUÇÃO	44
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	46
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.3.1 Teores dos nutrientes nas folhas na época do florescimento	48
5.3.2 Acúmulo de nutrientes na matéria seca da parte aérea e de grãos no final do ciclo	56
5.4 CONCLUSÕES	64
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
6 CAPÍTULO III - EFEITO DO CALCÁRIO NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS	67
RESUMO	67
ABSTRACT	68
6.1 INTRODUÇÃO	68
6.2 MATERIAL E MÉTODOS	71
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
6.3.1 Características químicas dos solos	75
6.3.2 Produção de grãos	78
6.3.3 Correlações entre características químicas do solo e a produção	86
6.4 CONCLUSÕES	88
6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
7 CAPÍTULO IV - NUTRIÇÃO MINERAL EM CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO E MANGANÊS DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA SUBMETIDOS À CALAGEM	91
RESUMO	91
ABSTRACT	92
7.1 INTRODUÇÃO	92
7.2 MATERIAL E MÉTODOS	94
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
7.3.1 Teores de Ca, Mg, K e Mn nas folhas no florescimento	96
7.3.2 Níveis críticos de Ca e Mg nas folhas no florescimento	101
7.3.3 Acúmulo total de Ca, Mg, K e Mn na parte aérea	103
7.4 CONCLUSÕES	106
7.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

LISTA DE QUADROS DO CAPÍTULO I

Quadro		Página
1	Análises química e física de amostras dos solos utilizados no experimento	27
2	Produção de matéria seca da parte aérea no florescimento ((MSPA-R6) e na maturação (MSPA-R9) e de grãos na maturação (MSGR-R9), em gramas por vaso, no primeiro (1 ^o), segundo (2 ^o) e total dos cultivos, e produção relativa de grãos (PR), em percentagem, do feijoeiro cultivado no solo Glei Pouco Húmico (HGP)	29
3	Produção de matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA-R6) e na maturação (MSPA-R9) e de grãos na maturação (MSGR-R9), em gramas por vaso, no primeiro (1 ^o), segundo (2 ^o) e total dos cultivos, e produção relativa de grãos (PR), em percentagem, do feijoeiro cultivado no solo Orgânico (HO)	30
4	Produção de matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA-R6) e na maturação (MSPA-R9) e de grãos na maturação (MSGR-R9), em gramas por vaso, no primeiro (1 ^o), segundo (2 ^o) e total dos cultivos, e produção relativa de grãos (PR), em percentagem do feijoeiro cultivado no solo Glei Húmico (HGH)	31
5	Produção de matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA-R6) e na maturação (MSPA-R9) e de grãos na maturação (MSGR-R9), em gramas por vaso, no primeiro (1 ^o), segundo (2 ^o) e total dos cultivos, e produção relativa de grãos (PR), em percentagem, do feijoeiro cultivado no solo Aluvial (A)	32
6	Produção de matéria seca total (soma dos dois cultivos) da parte aérea na maturação (MSPA-R9) e de grãos (MSGR-R9), em gramas por vaso, do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A)	34
7	Média dos dois cultivos do número de vagens por planta e número de grãos por vagem, do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (GHP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A)	38

LISTA DE QUADROS DO CAPÍTULO II

Quadro		Página
1	Teores de macro (g/kg) e de micronutrientes (mg/kg) nas folhas na época do florescimento (R6), no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) de matéria seca da parte aérea do tratamento de omissão em comparação ao C1, no primeiro e no segundo cultivos do feijoeiro no solo Glei Pouco Húmico (HGP)	50
2	Teores de macro (g/kg) e de micronutrientes (mg/kg) nas folhas na época do florescimento (R6), no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) de matéria seca da parte aérea do tratamento de omissão em comparação ao C1, no primeiro e no segundo cultivos do feijoeiro no solo Orgânico (HO)	51
3	Teores de macro (g/kg) e de micronutrientes (mg/kg) nas folhas na época do florescimento (R6), no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) de matéria seca da parte aérea do tratamento de omissão em comparação ao C1, no primeiro e segundo cultivos do feijoeiro no solo Glei Húmico (HGH)	52
4	Teores de macro (g/kg) e de micronutrientes (mg/kg) nas folhas na época do florescimento (R6) no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) de matéria seca da parte aérea do tratamento de omissão em comparação ao C1, no primeiro e segundo cultivos do feijoeiro no solo Aluvial (A)	53
5	Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) da MSPA e MSGR do tratamento de omissão em comparação ao C1, e percentagem de nutrientes exportados pelos grãos (EXP%) no tratamento C1, do feijoeiro cultivado no solo Glei Pouco Húmico (HGP)	57

Quadro

Página

- 6 Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) da MSPA e MSGR do tratamento de omissão em comparação ao C1, e percentagem de nutrientes exportados pelos grãos (EXP%) no tratamento C1, do feijoeiro cultivado no solo Orgânico (HO) 58
- 7 Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) da MSPA e MSGR do tratamento de omissão em comparação ao C1, e percentagem de nutrientes exportados pelos grãos (EXP%) no tratamento C1, do feijoeiro cultivado no solo Glei Húmico (HGH) 59
- 8 Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) da MSPA e MSGR do tratamento de omissão em comparação ao C1, e percentagem de nutrientes exportados pelos grãos (EXP%) no tratamento C1, do feijoeiro cultivado no solo Aluvial (A) 60
- 9 Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, nos tratamentos de suas omissões ,do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A) 63

LISTA DE QUADROS DO CAPÍTULO III

Quadro		Página
1	Doses de calcário aplicadas nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A), calculadas pelas equações de incubação, correspondentes às saturações por bases estabelecidas nos tratamentos	72
2	Características químicas das amostras dos solos Glei Pouco Húmico e Orgânico original e após a incubação com os tratamentos de calagem e aplicação da adubação básica, antes do primeiro cultivo	76
3	Características químicas das amostras dos solos Glei Húmico e Aluvial original e após a incubação com os tratamentos de calagem e aplicação da adubação básica, antes do primeiro cultivo	77
4	Produção estimada de matéria seca de grãos (MSGR) no primeiro (1 ^o), segundo (2 ^o) e total (1 ^o + 2 ^o) dos cultivos, correspondentes a 90 e 100% da produção máxima e as doses de calcário estimadas para promover essas produções pelo feijoeiro cultivado em quatro solos de várzea	81
5	Saturação por bases real (Vreal) e pH em água estimados correspondentes a 90 e 100% da produção relativa do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A)	83
6	Coefficientes de correlação linear simples entre o pH, teores de Ca, Mg e Al nos solos, H + Al, soma de bases (S), CTC efetiva (t), saturação por Al (m) e por bases (V) antes de cada cultivo e a produção de grãos no primeiro e segundo cultivos, pelo feijoeiro cultivado em quatro solos de várzea	87

LISTA DE QUADROS DO CAPÍTULO IV

Quadro		Página
1	Teores foliares de cálcio, magnésio e potássio (g/kg) e manganês (mg/kg) na época do florescimento, no 1 ^o e 2 ^o cultivos do feijoeiro em quatro solos de várzea, em função das doses de calcário aplicadas	97
2	Equações de regressão ajustadas para os teores foliares de cálcio na época R6, em g/kg (Y), no 1 ^o e 2 ^o cultivos, como variável dependente das doses de calcário aplicadas, em t/ha (X), do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HPH), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A)	102
3	Equações de regressão ajustadas para os teores foliares de magnésio na época R6, em g/kg (Y), no 1 ^o e 2 ^o cultivos, como variável dependente das doses de calcário aplicadas, em t/ha (X), do feijoeiro cultivado nos solos Glei pouco Húmico (HPH), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A)	102
4	Níveis críticos de Ca e Mg estimados nas folhas do feijoeiro, correspondentes a 90% da produção máxima de grãos, no primeiro (1 ^o) e segundo (2 ^o) cultivos, nos solos Glei Pouco Húmico (HPH), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A)	103

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO III

Figura		Página
1	Produção de matéria seca de grãos (MSGR) no primeiro (1 ^o), segundo (2 ^o) e total (1 ^o + 2 ^o) dos cultivos, pelo feijoeiro cultivado nos solos Gleí Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Gleí Húmico (HGH) e Aluvial (A) em função das doses de calcário aplicadas	80
2	Produção relativa de grãos de dois cultivos do feijoeiro em função da saturação por bases real (V_{real}) nos solos Gleí Pouco Húmico (HPH), Orgânico (HO), Gleí Húmico (HGH) e Aluvial (A) avaliadas antes de cada plantio	83
3	Relação entre o pH em água (1:2,5) e a saturação por bases dos dois cultivos sucessivos do feijoeiro, em solos Gleí Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Gleí Húmico (HGH) e Aluvial (A)	84

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO IV

Figura		Página
1	Acúmulo total de Ca, Mg, K e Mn na matéria seca da parte aérea total, em função das doses de calcário aplicadas nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A)	105

RESUMO

ANDRADE, Carlos Alberto de Bastos. **Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de várzea do Sul de Minas Gerais.** Lavras: UFLA, 1997. 107p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).*

Os solos de várzea apresentam-se com grande potencial na expansão da fronteira agrícola de alguns Estados, bem como no aumento da produção de alimentos no Brasil. De maneira geral, estes solos além de pouco férteis, são ácidos e com problemas sérios de Al e Mn em concentrações tóxicas. O cultivo do arroz inundado tem sido a exploração mais usada pelos agricultores, não sendo cultivada nenhuma outra cultura na entresafra. O feijoeiro mostra-se como grande opção para o cultivo dos solos de várzea no período da seca, em rotação com o arroz. Por apresentarem características físicas e químicas próprias, diferentes daqueles comumente cultivados com o feijoeiro, as técnicas utilizadas no seu cultivo tradicional em solos normais, não se aplicam diretamente aos solos de várzea. Portanto, tornam-se necessários estudos que visam buscar informações sobre técnicas adequadas para a exploração racional e econômica desses solos. Assim, conduziram-se dois experimentos em vasos de três dm³, sob condições de casa de vegetação na UFLA, Lavras - MG, de agosto de 1995 a junho de 1996, com os objetivos de se avaliar as limitações nutricionais (Capítulo I e II) e o efeito do calcário (Capítulos III e IV) para o

* **Orientador:** Prof. Dr. Valdemar Faquin. **Membros da Banca:** Profs. Drs.: Antônio Eduardo Furtini Neto, Arnaldo Junqueira Netto, José Carlos Pintro e Prof.(a). Dra. Miralda Bueno de Paula.

feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca) cultivado em amostras de quatro solos de várzea do Sul de Minas Gerais. Utilizaram-se amostras da camada superficial (0-20 cm) de solos das classes Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A), com dois cultivos sucessivos do feijoeiro. No primeiro experimento, através de 13 tratamentos baseados na técnica do elemento faltante, avaliaram-se as limitações de fertilidade dos quatro solos de várzea ao crescimento, produção e nutrição do feijoeiro, em fatorial 13×4 , com três repetições. No segundo experimento, estudaram-se o efeito de níveis de calagem equivalentes às saturações por bases (V%) - natural, 40, 60, 80, 100 e 120%, nos quatro solos de várzea, ao crescimento, produção e nutrição do feijoeiro, em fatorial 6×4 , com quatro repetições. Os resultados obtidos mostraram que os solos de várzea estudados apresentaram deficiências severas de B, P e K, cujas omissões na adubação reduziram o crescimento e a produção do feijoeiro a valores menores que 50% em relação ao tratamento completo, com a observação de sintomas visuais claros de deficiência nutricional. A deficiência de B foi tão drástica que não houve produção de grãos. As limitações promovidas pelas omissões de N, Ca e Mg foram menores, mas com reduções significativas no crescimento e na produção, situando entre 50 e 90% da produção do tratamento completo. Nos dois cultivos realizados, os solos supriram as exigências nutricionais do feijoeiro em Cu e Zn, mas com indicações de que sob cultivos intensivos, podem tornar-se limitantes a curto-médio prazo. A calagem é uma prática essencial para a obtenção de altas produtividades do feijoeiro nesses solos, fornecendo o Ca e o Mg e neutralizando a toxicidade de Mn e Al. As doses de calcário devem ser aplicadas visando elevar a saturação por bases real dos solos a 50% e o pH entre 5,1 e 5,3, evitando-se desequilíbrios nutricionais e possíveis deficiências de micronutrientes. As doses de calcário recomendadas pelo método da saturação por bases para $V_2 = 70\%$, aproximaram-se daquelas necessárias para elevar o V e o pH aos valores ideais citados, enquanto que o método do Al e Ca + Mg, subestimou estas doses.

ABSTRACT

FERTILITY LIMITATIONS AND EFFECT OF LIMESTONE FOR THE BEAN PLANT (*Phaseolus vulgaris* L.) ON LOWLAND SOILS FROM THE SOUTH OF MINAS GERAIS

Lowland soils represent a great potential in the expansion of the agricultural frontier of some states, as well as in the increase of food production in Brazil. Generally, these soils have low fertility, are acid and present serious problems related to Al and Mn toxicity. Waterlogged rice cultivation has been the exploration most widely used by the farmers, no other crop being cultivated in the non-growing season. The bean plant represent a great option for cultivation of lowland soils over the drought period, in rotation with rice. Due to the fact that they present own physical-chemical characteristics, different from those commonly cultivated with the bean plant, the technics utilized in its traditional cropping on normal soils, did not apply directly to lowland soils. Therefore, studies which aim to seek for information about suitable technics for rational and economical exploration of these soils become important. So, two experiments in 3 dm³ pots were conducted, in a greenhouse at the UFLA, Lavras-MG, from August/ 1995 to June/1996, with the purposes of evaluating the nutritional limitations (Chapters I and II) and the effect of limestone (Chapters III e IV) for the bean plant (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca) cultivated on samples of four lowland soils from the South of Minas Gerais (Brazil). Samples of the top layer (0-20 cm) were utilized from soils of the Low Humic Gley, Bog soil, Humic Gley

and Aluvial soil classes, with two successive croppings of the bean plant. In the first experiment, through thirteen treatments based on the missing element technics fertility limitations of the four lowland soils to growth, yield and nutrition of the bean plant were evaluated, in a 13×4 factorial scheme, with three replications. In the second experiment, the effect of limestone levels equivalent to the natural, 40, 60, 80, 100 and 120%, base saturations ($V\%$), on the four lowland soils, to growth, yield and nutrition of the bean plant, in a 6×4 factorial scheme, with four replications. The results obtained showed that the studied lowland soils presented severe deficiencies of B, P and K, whose omissions in the fertilization decreased both growth and yield of the bean plant to values below 50% relative to the complete treatment, with the observation of clear visual symptoms of nutritional deficiencies. B deficiency was so marked as there was no grain production. The limitations, promoted by the absence of N, Ca and Mg were smaller, but with significant decreases in growth and yield, lying between 50 and 90% of the yield of the complete treatment. In the two cultivations performed, the soils supply the nutritional requirements in Cu and Zn of the bean plant, but with indications that under intensive cropping, they may become limiting on short-medium term. Liming is an essential practice for obtaining high yields of the bean plants on these soils, furnishing Ca and Mg and neutralizing Mn and Al toxicity. The limestone doses should be applied aiming to raise the real base saturation to 50% and the pH between 5.1 and 5.3, avoiding nutritional unbalances and possible deficiencies of micronutrients. The limestone doses by recommended the base saturation method for $V_2 = 70\%$, approached those necessary for raising both V and pH to the ideal values cited, whereas the Al and Ca + Mg method underestimated these doses.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é o principal produto básico na alimentação do brasileiro. A cultura do feijoeiro no País ocupa uma área significativa, sendo que em 1997, a área colhida na 1ª e 2ª safra foi de aproximadamente 3,5 milhões de ha, com produção de 2,2 milhões de t (Leite e Santos, 1997). Para aumentar a produção é necessário o aumento da produtividade e/ou a incorporação de novas áreas no processo produtivo. Para alguns estados brasileiros, a única alternativa para a expansão econômica da fronteira agrícola é o uso racional das áreas de várzeas.

Os solos de várzeas, devido sua localização topográfica e processo de formação apresentam características físicas e químicas próprias, diferentes dos solos comumente cultivados com feijoeiro. Estes solos geralmente são ácidos, com textura variando de arenosa à argilosa, pobres em cálcio e magnésio e ricos em alumínio, o que exige a aplicação de calcário, principalmente para algumas culturas pouco tolerantes à acidez como é o caso do feijoeiro. Apresentam, também, elevados teores de matéria orgânica com composição variável. Nestas condições, de elevado poder tampão do solo, as doses de calcário recomendadas para se atingir os níveis de saturação por bases (V%) e de pH desejados são elevadas, levando à dúvidas sobre a necessidade desta recomendação.

As regiões brasileiras que possuem maiores extensões de várzeas são a Norte, com cerca de 50% do total disponível, a Sul, a mais cultivada e explorada tecnicamente com arroz

irrigado, outras culturas e pecuária, e a Sudeste, com destaque para Minas Gerais, onde houve maior sistematização de áreas através do PROGRAMA NACIONAL DE APROVEITAMENTO RACIONAL DE VÁRZEAS - PROVÁRZEAS (Santos e Silveira, 1996).

Os solos de várzeas, com aproximadamente 190.137 ha no Sul de Minas Gerais, (Minas Gerais, 1975) apresentam-se como grande opção para o cultivo do feijoeiro, principalmente em rotação com o arroz e outras culturas, pelo fato destes solos apresentarem um somatório de características favoráveis, tais como topografia adequada, facilidade de mecanização em algumas situações e irrigação. Existem, porém, algumas dificuldades com o cultivo do feijoeiro nestes solos, tais como a menor adaptabilidade do sistema radicular do feijoeiro às condições de baixos teor de oxigênio no solo e/ou elevado teor de umidade e poucas informações sobre as limitações nutricionais que estes solos apresentam para o desenvolvimento e produção da cultura.

Sendo a várzea um ecossistema instável é importante o conhecimento das características físicas e químicas desses solos para fornecer subsídios técnicos para a identificação de sua aptidão agrícola, preservação e exploração dos recursos naturais através do desenvolvimento de sistemas de produção com danos mínimos ao meio ambiente.

O aproveitamento racional e intensivo de áreas de várzea possibilita conduzir de dois a três cultivos anuais, o que poderá aumentar a produção de alimentos básicos em até seis vezes, em comparação com índices atuais obtidos em áreas não irrigadas e de cultivo tradicional (Silva, 1988).

Assim, objetivou-se com o presente trabalho, estudar as limitações de macro e micronutrientes e o efeito do calcário na nutrição, crescimento e produção do feijoeiro, quando cultivado em solos de várzeas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Natureza dos solos de várzeas

As várzeas são constituídas de solos originários de deposição de materiais transportados por cursos d'água, ou mesmo trazidos das encostas pelo efeito erosivo das chuvas. Compreendem áreas cujas cotas são as menores do relevo e, portanto, são locais para onde convergem tanto a água superficial quanto a subsuperficial das encostas circunvizinhas, conferindo aos solos alto teor de umidade em função do lençol freático normalmente próximo à superfície do solo. Estas áreas são naturalmente mais úmidas, tornando-se completamente encharcadas durante os períodos chuvosos (Coelho et al., 1988). Nestas condições, a matéria orgânica existente é lentamente mineralizada por bactérias anaeróbicas, o que propicia um acúmulo desse material no solo. Esse acúmulo é um dos principais responsáveis pelas melhores características físicas, químicas e biológicas apresentadas nos horizontes superficiais dos solos de várzea e pela sua fertilidade natural às vezes elevada (Capeche, 1991).

Por serem originados de sedimentos com grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica, os solos de várzeas apresentam uma diversidade muito grande nas características físicas e químicas (Guilherme, 1990). Uma característica dominante nestes solos, entretanto, é a má drenagem ou hidromorfismo, embora aqueles situados em terraços ou níveis mais elevados possam apresentar-se mais bem drenados (Curi, Resende e

Santana, 1988). Estes solos, por passarem pelo menos um período sob inundação, apresentam características diferentes daquelas verificados em condi es de boa drenagem, destacando-se entre estas, a rea o do solo e as condi es de oxida o-redu o (Guilherme, 1990).

A altera o destas características acarreta mudanças no comportamento dos nutrientes, tanto daqueles nativos, quanto dos adicionados ao solo, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas e o aproveitamento dos fertilizantes aplicados.

Outro fator que contribui para aumentar a complexidade destas áreas  , dentro do enfoque do PROVÁRZEAS, a diversidade de culturas a serem exploradas, buscando sua utiliza o durante o ano todo. Embora certas d vidas tenham sido levantadas em anos recentes, admite-se que a voca o natural das várzeas seja para a cultura do arroz, em decorrência da sua grande exigência em  gua (Carvalho et al, [19--]). Esses autores, entretanto, sugerem outras op es de ocupa o em rota o com a cultura do arroz, tais como: arroz, feijão, feijão; arroz, trigo; arroz, forrageira de inverno; arroz, milho; arroz, ol riculas; arroz, soca de arroz, feijão ou trigo.

De acordo com Curi e Andrade (1983), nas várzeas pode-se encontrar as seguintes classes de solos: Glei Húmico, Glei Pouco Húmico, Orgânico, Aluvial, Laterita Hidromórfica, Plintossolo, Areia Quartzosa Hidromórfica, Vertissolo, Podzol Hidromórfico, Planossolo, Hidromórfico cinzento e solos Salinos (Solonetz, Solodi e Solonetz-Solodizado). Em Minas Gerais, conforme levantamentos realizados pela EMBRAPA (1982) e por Freire e Novais ([19--]), são encontrados principalmente as classes Aluvial (A), Glei Pouco Húmico (HGP), Glei Húmico (HGH), e Orgânico (HO).

A importância e a necessidade de se utilizar as várzeas intensivamente residem no aproveitamento de seus recursos hídricos, sem dispêndio de energia (Galr o, 1990). Abreu (1985)

apresenta vários pontos favoráveis à utilização dos solos de várzea, tais como topografia adequada, facilidade de mecanização em algumas áreas e possibilidade de irrigação contínua. Este último aspecto, segundo o mesmo autor, é de grande importância, considerando a seca e/ou veranicos como fatores altamente limitantes da produção de certas regiões onde se encontram inseridas estas várzeas.

Apesar da importância dos solos de várzeas para o processo produtivo brasileiro, de modo geral, existem poucas informações em termos de sua capacidade em suprir nutrientes para as culturas, de modo a obter altas produtividades. Quando se procura alcançar maiores produtividades para as culturas, fazem-se necessários estudos multidisciplinares que permitam a viabilização desse objetivo. Giúdice, Freire e Tanaka (1979), consideram que, apesar do melhoramento de plantas, controle de pragas e doenças, irrigação e drenagem serem importantes no aumento da produtividade, a nutrição mineral adequada das plantas é responsável por 50% do aumento da produtividade.

2.2 Calagem para o feijoeiro

O calcário, freqüentemente usado como corretivo de acidez do solo, fornece também cálcio e magnésio à cultura, favorece o desenvolvimento de bactérias noduladoras (Fontes, 1972; Sonzonowicz e Vargas, 1980), proporciona um aproveitamento mais eficiente de adubos fosfatados (Mascarenhas et al., 1967), favorece a mineralização da matéria orgânica (Mascarenhas et al., 1967, Volkweiss e Ludwik, 1976), promove um aumento da CTC efetiva do solo e cria condições que permitem o melhoramento das propriedades físicas do solo, no que concerne a sua permeabilidade (Souza et al., 1980).

Embora o feijoeiro possa tolerar maior amplitude de pH, recomenda-se implantar a cultura em solos com pH entre 6,0 e 6,5, visando o aproveitamento da fixação simbiótica do N; porém, a pesquisa tem considerado pouco este aspecto, fornecendo freqüentemente o nitrogênio na forma combinada (Rosolem, 1987). Para Guedes e Junqueira Netto (1978) a faixa de acidez em que o feijão melhor se desenvolve está entre o pH 5,5 e 6,5; entretanto, Kluthcovski (1984) admite que o feijoeiro se desenvolve até no pH 5,0 e que a faixa mais favorável vai do pH 6,5 a 7,5.

Nos estados de São Paulo (Raij et al., 1996) e de Minas Gerais (Comissão..., 1989) têm-se recomendado calcário para a cultura em doses suficientes para elevar a saturação por bases a 70%.

Diversos são os trabalhos encontrados na literatura que mostram efeitos positivos do feijoeiro à aplicação de calcário em solos minerais ácidos (Fontes, 1965; Mascarenhas et al., 1967; Fontes, 1972; Pons, 1975; Bittencourt, Gomes e Zembello Junior, 1976; Muzilli, 1983; Portela et al., 1985; Garcia, 1990), em doses suficientes para elevar o pH e/ou a saturação por bases, aos valores anteriormente citados tidos como adequados.

A elevação do pH depende do tamponamento do solo (Raij, 1981), o que implica numa variação dos níveis de calagem e conseqüentemente da saturação por bases. Não existe um consenso sobre a metodologia mais adequada para avaliação de doses de calcário em função das variações nas características dos solos. Para Portela (1984), os métodos de laboratório para determinação da necessidade de calagem dos solos variam em seus princípios analíticos, por isso conduzem à recomendação de quantidades diferentes de calcário para um mesmo solo, além de não considerarem a variabilidade de respostas das diferentes culturas e cultivares à calagem. Outro aspecto a ser considerado é que esses métodos são desenvolvidos sob condições ambientais

controladas, diferentes daqueles que ocorrem no campo, onde a amplitude e velocidade das reações são influenciadas por muito fatores.

A eficiência da metodologia que usa o critério do Al trocável, para predição da necessidade de calagem dos solos, tem sido questionada entre os pesquisadores e varia com o objetivo da calagem: para reduzir a atividade do Al em solução, e/ou para elevar os teores de Ca e Mg do solo. A faixa de pH em que ocorre a neutralização do Al e a dose de calcário para elevar o pH do solo a dado valor é muito variável de solo para solo, dependendo muito do poder tampão de cada um (Catani e Alonso, 1969; Servin, Mello e Moraes, 1973; Mello, 1977). A matéria orgânica (M.O.) tem sido considerada como sendo um dos fatores que mais influenciam a necessidade de calagem dos solos (Ross, Lawton e Ellis, 1964; Tobón e Leon, 1971; Rosato e Mello, 1981). Kenney e Corey (1963) observaram correlação significativa entre as doses de calcário, o valor de T (CTC a pH 7,0) e o teor de M.O. dos solos estudados.

Em solos de várzeas drenados, a recomendação de calagem tem sido baseada em dados obtidos em solos minerais, com resultados nem sempre satisfatórios. Devido ao alto teor de matéria orgânica e conseqüentemente elevado poder tampão, estes solos requerem doses elevadas de calcário para a correção de acidez. Entretanto, segundo McLean e Brown (1984), existem trabalhos mostrando que em solos turfosos, os efeitos tóxicos dos íons Al, Fe e Mn são diminuídos pelo poder complexante dos compostos orgânicos. Assim, os níveis de calagem adequados não são os mesmos recomendados para os solos minerais, que não sofreram modificações decorridas do baixo de teor de O₂, necessitando, portanto, maiores estudos para a definição de critérios mais eficientes para recomendação de calagem para estes solos.

2.3 Nutrição mineral do feijoeiro

Segundo Haag et al. (1967), o crescimento inicial do feijoeiro é muito lento, sendo que nos primeiros 20 dias após a germinação produz apenas 5% de matéria seca total. Maior taxa de crescimento ocorre do início do florescimento (30 a 35 dias) até aos 50 dias após a germinação, diminuindo seu crescimento a partir daí.

Estes dados coincidem com os discutidos por Rosolem (1987), em que durante o florescimento (período entre 45 e 55 dias) é que se observa a maior taxa de crescimento, acumulando aproximadamente 67 kg de matéria seca/ha.dia. Em seguida, há uma diminuição na quantidade acumulada, devido à queda de folhas, com novo aumento na matéria seca a partir dos 70 dias, determinado pela formação das vagens e dos grãos.

A absorção de nutrientes segue a curva de crescimento (Moraes, 1988). Haag et al. (1967) concluem que o feijoeiro absorve todo nitrogênio e potássio que necessita nos primeiros 50 dias; neste período, a planta absorve de 2,0 a 2,5 kg N/ha.dia (Rosolem e Marubayashi, 1994), e em média 1,69 kg K/ha.dia (25 a 35 dias - época da diferenciação floral) e 3,29 kg K/ha.dia (45 a 55 dias - final do florescimento e início da formação de vagens) (Rosolem, 1987). Segundo este mesmo autor, a época de maior absorção de P ocorre entre 30 e 55 dias, sendo a demanda mais acentuada no início da formação de vagens (45-55 dias), quando absorve cerca de 0,21 kg/ha.dia. Para o Ca, Mg e S, o autor relata em sua revisão, que as máximas absorções ocorrem entre as fases de formação dos botões florais até o início da formação das vagens, e neste período a demanda atinge a valores de 1,27 a 1,52 kg Ca/ha.dia, 0,5 a 1,0 kg Mg/ha.dia e de 0,3 a 0,8 kg S/ha.dia.

Analisando os resultados de exigências nutricionais pelo feijoeiro, Moraes (1988) concluiu que as diferenças obtidas nas informações podem ser devidas ao ciclo do material estudado, e que os dados mostram que o período de máxima exigência nutricional do feijoeiro é aquele entre 15-20 e 50 dias após a germinação, apesar da disponibilidade de nutrientes logo após a germinação, ser imprescindível para o adequado estabelecimento da cultura. Qualquer limitação no suprimento de água e de nutrientes nesse período atrasa e diminui a formação das raízes, comprometendo o crescimento das plantas.

Com relação a extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro, a grande discrepância entre os resultados obtidos por diversos autores pode ser atribuído aos métodos experimentais empregados, cultivares diferentes, ensaios em campo ou em vasos, entre outros fatores. De maneira geral, a exigência (extração) nutricional do feijoeiro em ordem decrescente é a seguinte: N, K, Ca, Mg, S, P, Fe, Mn, B, Zn e Cu e a exportação pelos grãos, da mesma maneira: N, K, P, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B e Cu (Rosolem, 1987; El-Hunsy, 1992; Fageria e Souza, 1995). Em 1 t de grãos, Rosolem e Marubayashi (1994) citam que a exportação média de nutrientes corresponde a 35,5 kg N; 4,0 kg de P; 15,3 kg K; 3,1 kg de Ca; 2,6 kg de Mg e 5,4 kg de S.

Com relação aos teores adequados na matéria seca de todas as folhas do feijoeiro coletadas na época do florescimento, Raij et al. (1996) citam os seguintes valores: N = 30-50; P = 2,5-4,0; K = 20-24; Ca = 10-25; Mg = 2,5-5,0; S = 2,0-3,0 g/kg e B = 15-26; Cu = 4-20; Fe = 40-140; Mn = 15-100; Mo = 0,5-1,5; Zn = 18-50 mg/kg. Estes teores devem ser usados como faixas críticas para a avaliação do estado nutricional da cultura pela diagnose foliar.

2.4 Potencial produtivo dos solos de várzeas

Com relação a adubação e calagem para o feijoeiro em solos de várzeas, pouco se tem encontrado na literatura. Abreu (1985), apresenta um resumo dos experimentos conduzidos em solos de várzeas principalmente no Vale do Paraíba (São Paulo) e em Minas Gerais. Nestes trabalhos foi observado que dentre os macronutrientes, o nitrogênio e o fósforo são os que mais têm limitado a produção de diversas culturas tais como arroz, trigo, milho, feijão, batatinha e soja. Dos 70 experimentos instalados para verificar o efeito da adubação nitrogenada na produção das diversas culturas, 52 mostraram respostas positivas, correspondendo a 74,3% do total. As culturas que mais responderam à aplicação de N foram trigo, com 100% de resposta, sendo que o teor médio de matéria orgânica no solo foi de 3,1%; arroz inundado com 80% de resposta e teor médio de matéria orgânica no solo de 4,0%; batatinha com 75% de respostas e média de matéria orgânica de 25,3%. A aplicação de N causou os maiores aumentos dependendo do tipo de solo e cultura. No arroz inundado, esses aumentos chegaram a 66,9% sobre a produção de grãos em relação ao tratamentos que não receberam N (Schmidt e Gargantini, 1963). Para as culturas da batatinha e trigo esses aumentos foram menos acentuados, 44 e 40%, respectivamente (Gomes e Freire, 1962 e Camargo e Alves, 1972).

Peloso, Moraes e Dutra (1990), estudando o efeito do parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijão (cv. EMGOPA 201-Ouro) de inverno, em várzeas do estado de Goiás, observaram que a aplicação crescente de nitrogênio condicionou aumentos de produtividade no solo que recebeu irrigação.

Na revisão de Abreu (1985) as respostas observadas à adubação fosfatada foram semelhantes às do nitrogênio. De um total de 67 experimentos, 48 mostraram efeitos positivos à aplicação de adubos fosfatados, correspondentes a 71,6% de resposta. As culturas que

apresentaram maior resposta à aplicação de P foram a batatinha com 75%, arroz inundado com 70% e trigo com 60% de resposta. Nos solos utilizados, os teores de P (extrator H_2SO_4 $0,05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) variaram, respectivamente, de 30,0 a 310,2 ppm para a batatinha, de 2 a 86,9 ppm para arroz e de 4,1 a 36,2 ppm para trigo. Apesar do número de experimentos instalados com as culturas de milho, feijão, alho, cebola e soja serem insuficientes para uma afirmação da necessidade real de aplicação de fósforo nestes solos, a grande maioria mostrou resposta altamente significativa.

Os efeitos positivos na produção de arroz, batatinha e trigo pela aplicação de N e P indicam que o uso da adubação nitrogenada e fosfatada para essas culturas desponta como uma prática importante para o uso agrícola destes solos. Chama a atenção o fato do arroz inundado apresentar respostas positivas ao uso de adubos fosfatados em 80% dos experimentos, com tão ampla variação nos níveis de fósforo solúvel pelo H_2SO_4 $0,05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Abreu, 1985).

Nas adubações potássicas, as respostas observadas em várzeas de São Paulo e Minas Gerais foram menos consistentes do que as obtidas com N e P. Somente 41,7% dos experimentos instalados mostraram respostas à adição deste nutriente. Das diversas culturas como trigo, milho, feijão, soja, arroz inundado e batatinha, apenas as duas últimas responderam à aplicação de K. Este fato sugere, possivelmente, uma maior disponibilidade de K nestes solos quando comparado com N e P (Abreu, 1985).

Abreu (1985), trabalhando em condições de casa de vegetação, avaliando as deficiências nutricionais em macronutrientes em três solos de várzeas (Glei Húmico Careaçú, Glei Húmico e Orgânico de Uberaba) através de quatro cultivos sucessivos com milho, observou queda acentuada na produção de matéria seca pela omissão de qualquer macronutriente no Glei Húmico de Careaçú; para os solos Glei Húmico e Orgânico de Uberaba, somente as omissões de Ca e Mg não promoveram redução na produção de matéria seca. A curto prazo (1º cultivo), verificou-se efeito depressivo na produção de matéria seca pela omissão de P, K e Ca no Glei

Húmico de Careaçú; P e S no Gleí Humico de Uberaba e P no solo Orgânico. Com a sucessão de cultivos todos os macronutrientes mostraram-se deficientes, mostrando a baixa capacidade dos solos em suprir os macronutrientes em cultivos intensivos.

Andrade (1997), observou em solo de várzea da região Norte Fluminense, maiores reduções na matéria seca da parte aérea do feijoeiro nas omissões de N e P quando cultivado antes da cultura de arroz e, em cultivo sucessivo, às de N e K. Segundo o autor, em condições de primeiro cultivo, é provável que o método tradicional de análise de solo para o P (extrator Mehlich 1) não se correlacione ao disponível para as plantas do feijoeiro e, em condições de cultivo sequencial, a cultura pode ter sido beneficiada pelo aumento do fósforo disponível em função das modificações no solo devido ao cultivo do arroz inundado. Nesta condição, além do N, a omissão do K também contribuiu para reduzir a matéria seca de grãos pelo feijoeiro, devido à grande exigência do arroz por estes nutrientes. Apesar dos teores de K, Ca, Mg, S, B, Zn e Fe observados por Andrade (1997) na matéria seca do feijoeiro em sucessão ao arroz serem inferiores aos níveis críticos, somente na testemunha e na omissão de N e K é que o acúmulo de nutrientes foi significamente menor, inclusive com manifestação visual de deficiência. Também, neste trabalho, independente do tipo de cultivo avaliado, foi constatado toxidez de Mn.

Galvão, Souza e Peres (1984) avaliaram, em casa de vegetação, o efeito do calcário, S, Cu, Zn, B e Mo na produção da matéria seca da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), var. Doko, em dez solos de várzeas da região do Cerrados com ampla variação nas suas propriedades químicas e físicas. Quanto ao efeito de cada nutriente na matéria seca, as respostas obedeceram à seguinte ordem: B > S > Cu > Zn. Não foi constatada resposta ao molibdênio.

Em condições de campo com um solo Gleí Húmico franco-argiloso, Galvão (1990) estudou o efeito da aplicação a lanço de micronutrientes e calcário no rendimento de grãos em

três cultivos de soja cultivar Savana. O autor observou que a aplicação de B aumentou a produção da soja nos três cultivos e a adição de Zn, apenas no primeiro.

Quaggio et al. (1985) conduziram experimento em solo orgânico, unidade Tarum (Pariquera-Açú), realizando dois ciclos de rotação feijão (cv. Carioca) e milho (*Zea mays*), aplicando cinco doses de calcário e utilizando dois calcários um magnesiano e outro dolomítico. Os resultados mostraram que, apesar das respostas significativas nas produções de feijão e milho verde à calagem, elas foram menos acentuadas do que as observadas com as mesmas espécies, em trabalhos anteriores, em solos minerais. Não se verificou influência do tipo de calcário sobre as produções das culturas. A análise foliar revelou que a calagem aumentou as concentrações foliares de fósforo e molibdênio nas duas culturas e, ainda que houve uma diferença entre ambas com relação à absorção de manganês. Concluíram também que, nos solos orgânicos, os níveis de calagem para elevar a saturação por bases para 40-50% foram suficientes para as duas culturas e inferiores aos preconizados para os solos minerais. As mesmas conclusões foram obtidas por Quaggio et al. (1987) quando estudaram em sequência ao trabalho anterior, o efeito residual dos calcários na produção da abobrinha-italiana.

Assim, a revisão mostrou claramente que os solos de várzeas representam um grande potencial na expansão da fronteira agrícola e na produção de alimentos no Brasil; que estes solos apresentam uma grande diversidade nas suas características químicas, condicionando-os à diferenças marcantes em relação aos solos minerais, no que se refere a capacidade de suprimento e as respostas a macro e micronutrientes, bem como às doses de calcário adequadas a aplicar. Desta maneira, propôs-se o presente estudo visando a obtenção de informações sobre a necessidade de aplicação de calcário e de nutrientes, capazes de contribuir para o correto manejo da adubação e da calagem desses solos quando cultivados com o feijoeiro.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A. de. **Identificação de deficiências de macronutrientes em três solos de várzeas de Minas Gerais**. Lavras: ESAL, 1985. 93p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

ANDRADE, W.E. de B. **Limitações nutricionais para a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) e do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em cultivo sucessivo em solo de várzea da região Norte Fluminense**. Lavras: UFLA, 1997. 125p. (Tese-Doutorado em Fitotecnia)

BITTENCOURT, V.C.; GOMES, V.B.; ZEMBELLO JUNIOR, E. Efeito da aplicação de calcário em Terra Roxa Estruturada e sua influência na produção do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, Campinas, 1975. **Anais...** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976.p.265-271.

CAMARGO. C.E. de O.; ALVES,S. Adubação do trigo. iii. Experiência em N, P, K e S, em solos de baixada, tipo Massapê, de Monte Alegre do Sul. **Bragantia**, Campinas, v.31, n.28, p.337-347. nov.1972.

CAPECHE, C.L. **Efeito da adubação com N, P, K e micronutrientes sobre a cultura do arroz irrigado em solo de várzeas no Estado do Rio de Janeiro**. Itaquai: UFRRJ, 1991. 160p. (Tese- Mestrado em Ciência do Solo).

* CARVALHO, E.M.; PIRES, E.T.; SANTOS, M.M.; FELIPE, M.P.; LAMSTER, E.C. Aproveitamento atual de várzeas sistematizadas. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. **Provárzea Nacional: 1 hectare vale por 10**. Brasília, [19--].p.19-25. (Informação Técnica,1).

CATANI, R.A.; ALONSO, O. Avaliação da exigência de calcário no solo. **Anais Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.26, p. 141-156. 1969.

COELHO, E.F.; CARLOS, J.; CARVALHO, J.P. de; CUPERTINO , J.L.; CAMPOS, D.G. Drenagem de várzeas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.151, p.23-35, 1988.(Exploração nacional de Várzea-I)

COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 4ª aproximação.** Belo Horizonte: EPAMIG, 1989. 159p.

CURI, N.; ANDRADE, H. **Solos de várzeas.** Lavras, ESAL, 1983. 12p. (mimeografado).

CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Solos de várzeas de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.152, p.3-10, 1988.(Exploração Racional de Várzeas-II)

✕ EL-HUSNY, J.C. **Limitações nutricionais para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solo do Norte de Minas Gerais.** Lavras: ESAL, 1992. 151p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do triângulo mineiro.** Rio de Janeiro, 1982. 526p. (Boletim de Pesquisa, 1).

FAGERIA, N.K.; SOUZA, N.P. de. Respostas das culturas de arroz e feijão em sucessão à adubação em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.3, p.359-368, mar. 1995.

FONTES, L.A.N. **Adubação N-P-K-Ca da cultura do feijão na Zona da Mata, Minas Gerais,** Viçosa: UFV, 1965. 47p. (Dissertação-Mestrado em Agricultura Especial).

✕ FONTES, L.A.N. Nota sobre efeitos da aplicação de adubo nitrogenado e fosfatado, calcário e inoculante na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L). **Revista Ceres**, Viçosa, v.19, n.103, p.211-216, maio/jun. 1972.

✕ FREIRE, F.N.; NOVAIS, R.F. Solos de várzeas características e problemas relativos a fertilidade. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. **Provárzeas Nacional: 1 hectare vale por 10.** Brasília, [19--]. p.29-38 (Informação Técnica, 1).

• GALRÃO, E.Z. Aplicação de micronutrientes e calcário no rendimento da soja em solo de várzeas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.381-384, set./dez. 1990.

GALRÃO, E.Z.; SOUSA, D.M.G. de; PERES, T.R.R. Caracterização de deficiências nutricionais em solos de várzeas da região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.9, p.1091-1101, set. 1984.

GARCIA, L. **Efeito dos níveis de saturação em bases e micronutrientes sobre a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L).** Lavras: ESAL, 1990. 83p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).

- GIÚDE, R.M. de; FREIRE, F.M. TANAKA, R.T. Nutrição mineral e adubação do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 5, n.55, p.40-55, jul. 1979.
- GOMES, A.G.; FREIRE, E.S. Adubação da batatinha no vale do Paraíba, experiências com adubos nitrogenados. **Bragantia**, Campinas, v.21, n.14, p.21-255, fev. 1962.
- GUEDES, G.A.A. de; JUNQUEIRA NETTO, A. Calagem e adubação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.4, n.46, p.21-23, out. 1978.
- GUILHERME, L.R.G. **Calagem e inundação em solos de várzeas cultivados com arroz: alterações em pH, nitrogênio, fósforo e enxofre**. Lavras: ESAL, 1990. 113p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.26, n.30, p.381-391, set. 1967.
- KENNEY, D.R.; COREY, R.B. Factors affecting the lime requirements of Wisconsin soils. **Soil Science Society of the American Proceeding**, Madison, v.27,n.3, p.277-280, May/June. 1963.
- KLUTHCOVSKI, J. **Requerimento nutricional do feijoeiro**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 101p. (Curso de Pesquisa e Produção de feijão, 3).
- LEITE, E.C.B.; SANTOS, R.L. dos. IBGE - Síntese Estatística; Variações positivas e soja em destaque. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v.17, n.6, p.35, jun.1997.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T.; LOVADINI, L.A.; FREIRE, E.S. Adubação mineral do feijoeiro. XII - Efeitos de N, P, K e da calagem em campos de cerrados do planalto paulista. **Bragantia**, Campinas, v.26, n.22, p.303-316, jun. 1967.
- McLEAN, E.O.; BROWN, J.R. Crop response to lime in the midwest × united state. In: ADANS, F. **Soil acidity and liming**, Madison: ASA/CSSA/SSA, 1984. p.267-304.
- MELLO, F. de A. F. de .A relação pH × Al⁺³ trocável do solo. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.52, n.4, p.213-217, dez. 1977.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Agricultura. **Programa de aproveitamento de várzeas - PROVÁRZEAS**, Belo Horizonte. 1975. 64p.
- MORAES, J.F.V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1988. 589p.
- MUZZILLI, O. Calagem para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO: acidez e calagem no Brasil, 15, Campinas, 1982. **Trabalhos...** Campinas: Sociedade de Ciência do Solo, 1983. p.165-178.

- PELOSO, M.J.D.; MORAES, E.A.; DUTRA, L.S. Efeito do parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijoeiro de inverno com irrigação por aspersão, e em várzeas, no Estado de Goiás. In: REUNIÃO SOBRE FEIJÃO IRRIGADO (GO, DF, MG, ES, SP, RJ), 1, Goiânia, 1988. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1990. p.94-95. (EMBRAPA-CNPAP. Documento, 27).
- ✓ PONS, A.L. Efeito da calagem e da adubação nitrogenada em feijoeiro. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.11, n.2, p.251-257, jun. 1975.
- PORTELA, C.L. da S. **Necessidade de calagem para culturas do milho e feijão em consórcio, em solos de microrregião Mata de Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1984. 68p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- PORTELA, C.L. da S.; DEFELIPO, B.V.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.G. Necessidade de calagem para culturas do feijão em solos de microrregião Mata de Viçosa, Minas Gerais. Experimento em casa de vegetação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.32, n.182, p.271-282, jul./ago. 1985.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; BATAGLIA, O.C. Calagem para rotação feijão-milho verde em solo orgânico do Vale do Rio Ribeira de Iguape (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. v.9, n.3, p.255-261, set./dez. 1985.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; YANAI, K. Resposta da abobrinha italiana a doses de calcários com diferentes teores de magnésio em solo orgânico do Vale do Ribeira-SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.2, p.167-173, maio/ago. 1987.
- RAIJ, B.van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato. 1981. 141p.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. FURLANI, A.M.C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- ROSATO, F.M.; MELLO, F. de A.F.de. Efeitos da calagem e da matéria orgânica sobre acidez de cinco solos do município de Piracicaba. I. Efeitos sobre o pH. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.56, n.3, p.191-201, nov. 1981.
- ✓ ROSOLEM, C.A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: POTAFÓS, 1987. 93p. (Boletim Técnico, 8).
- ✓ ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.68, p.1-15. dez. 1994. (Encarte - POTAFOS, Arquivo do Agrônomo, 7).

- ROSS, J.; LAWTON, K.; ELLIS, B. Lime requirements related to physical-chemical properties of nine Michigan soil. **Soil Science Society of the American Proceeding**, Madison, v.28, n.2, p.209-213, Mar./Apr. 1964.
- X SANTOS, A.B. dos; SILVEIRA, P.M. da. Cultivo em várzeas. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, N.J. de O. (coods). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFÓS, 1996. p.589-617.
- SCHMIDT, N.C.; GARGANTINI, H. Adubação nitrogenada para arroz em solos argilosos de várzeas. **Bragantia**, Campinas, v.22, n.28, p.367-372, maio 1963.
- SERVIN, G.M.; MELLO, F. de A.F.; MORAES, R.S. Estudos sobre a correção da acidez do solo causada pelo Al^{+3} trocável. I. Efeitos sobre o pH, al^{+3} e H^+ trocáveis em solos das séries Sertãozinho e Monte Olimpo e das unidades 2 e 18. **Anais Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, n. 30, p.7-20, 1973.
- 'SILVA, A.R. da. Provárzeas/Profir. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, Goiânia, 1987. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1988. p.13-14. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 22).
- SONZONOWICZ, C.; VARGAS, A.A.T. Efeitos do calcário e potássio na produção e na composição do *Stylosantes guyanensis* em um Latossolo Vermelho-Escuro de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4,n.3, p.165-169, set./dez. 1980.
- SOUSA, D.M.G. de; MIRANDA, L.M.; LOBATO, E.; KLIEMANN, H.J. Avaliação de métodos para determinar as necessidades de calcário em solos de cerrados de Goiás e do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.3, p.144-148, set./dez. 1980.
- TOBÓN, J.H; LEON, L.A. Comparacion de varios métodos para determinar requerimientos de cal en algunos suelos colombianos. **Suelos Equatoriales**, Cali, v.3, n.1, p.66-87, 1971.
- VOLKWEISS, S.J.; LUDWICK, A.E. **O melhoramento do solo pela calagem**. Porto Alegre: UFRGS, 1976. 30p. (Boletim Técnico, 1).

4 CAPÍTULO I

MACRO E MICRONUTRIENTES NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS.

RESUMO

O experimento, baseado na técnica do elemento faltante, foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, no período de agosto de 1995 a junho de 1996, com o objetivo de estudar as limitações de fertilidade e o efeito de macro e micronutrientes no crescimento e na produção do feijoeiro cultivado em solos de várzea. Utilizaram-se amostras da camada de 0-20 cm de quatro solos: Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A), coletados no município de Lavras-MG, cultivados com o feijoeiro cv. Carioca - MG. Foram realizados dois cultivos sucessivos em vasos com três dm³. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 13 × 4, sendo 13 tratamentos fundamentados na técnica do elemento faltante, quatro solos de várzea (HGP, HO, HGH e A) e três repetições. Os solos estudados apresentaram deficiências severas de B, P e K, com grandes reduções no crescimento e na produção, a valores inferiores a 50% em relação ao tratamento Completo. A deficiência de B foi tão drástica que não permitiu a produção de grãos. As deficiências de N, Ca e Mg, embora mais leves, reduziram significativamente o crescimento e a produção da cultura. Os solos não apresentaram limitações

de Cu e Zn pelo menos nos dois cultivos realizados. A calagem mostrou-se prática essencial para o cultivo do feijoeiro nestes solos.

**MACRO AND MICRONUTRIENTS ON THE GROWTH AND YIELD OF THE BEAN
PLANT CULTIVATED ON LOWLAND SOILS FROM THE SOUTH OF MINAS
GERAIS**

ABSTRACT

The experiment, based on the missing element technichs, was conducted in a greenhouse of the Department of Agriculture of the Universidade Federal de Lavras-MG, over the period from August/1995 to June/ 1996, with the purpose of studying the fertility limitations and effect of both macro and micronutrients upon the growth and yield of the bean plant cultivad on lowland soils. It were used samples of the 0-20 cm layer from four soils: Low Humic Gley, Bog soil, Humic Gley and Aluvial soil, collected in city of Lavras-MG-Brazil, were cultivated with the bean plant cv Carioca-MG. Two sucessive plantings in pots of 3 dm³ were conducted. The experimental design was completely randomized in a 13 × 4 factorial scheme, being 13 treatments based upon the missing element technichs, four lowland soils and three replications. The investigated soils showed severe deficiencies of B, P and K with great decrease in growth and in production, to values lower than 50% relative to the complete treatment. B deficiency was so marked as it did not enable grain production. The deficiencies of N, Ca and Mg, although slighter, significantly decrease both the growth and the crop yield. The soils did not present Cu and Zn limitations at least in the two plantings performed. Liming proved to be an essential practice to the bean plant cultivation on these soils.

4.1 INTRODUÇÃO

Muitos produtores não utilizam suas áreas de várzeas com outras culturas em sucessão ao arroz na entressafra, simplesmente as abandonam após colheita; outros utilizam os restos de suas lavouras para alimentação do gado, sob regime de pastoreio direto, e poucos aproveitam os restos culturais através da fenação. A intensificação dos cultivos em várzeas com arroz e outras espécies em rotação, como feijoeiro, possibilitaria o aproveitamento racional destas áreas. Entretanto, o manejo da água de irrigação e/ou a drenagem reveste-se de fundamental importância, visto que esta espécie é extremamente sensível aos excessos de água e, da mesma forma, às concentrações tóxicas de alguns elementos químicos comuns nesses solos (Silveira, 1992). Para Fageria, Oliveira e Dutra (1996), estes solos na grande maioria das vezes são ácidos e pouco férteis, com problemas de toxicidade de alumínio e, em certos casos de manganês.

As técnicas culturais disponíveis para o feijoeiro em várzeas são escassas, mas já existem alguns resultados com relação à adaptação de cultivares para estas condições, sistemas de plantio e adubação.

Por apresentarem características físicas e químicas próprias, diferentes daqueles solos comumente cultivados com o feijoeiro, as técnicas utilizadas no seu cultivo tradicional em solos minerais, não se aplicam diretamente aos solos de várzeas. Como a maioria dos solos brasileiros, os solos de várzeas apresentam problemas relativos à fertilidade, e para serem explorados racionalmente, suas limitações e as soluções para as correções devem ser estudadas.

De acordo com a EMBRAPA (1982) os solos típicos de várzea em Minas Gerais podem ser enquadrados principalmente nas classes Aluvial, Gleí Pouco Húmico, Gleí Húmico e Orgânico. Estes solos podem variar desde minerais até orgânicos, e devido a grande variabilidade de materiais que lhes deram origem, as suas limitações, possivelmente, não são comuns.

Como a maioria dos solos de várzeas normalmente apresentam-se ácidos e com elevados teores de Al trocável (Quaggio et al., 1987) e sendo o feijoeiro uma cultura exigente em pH (Guedes e Junqueira Netto, 1978), a calagem tem sido uma prática indispensável para viabilizar o processo produtivo destes solos (Quaggio et al., 1987 e Paula, 1995).

Segundo Fageria (1994) e Fageria e Zimmermann (1996), o aumento no crescimento do feijoeiro é consequência direta do aumento do pH em solos de cerrado e de várzea, sendo obtida a produção máxima de matéria seca em pH em torno de 6,0 em ambos os solos. Em trabalho realizado no CNPAF/EMBRAPA, observou-se que o feijão é bastante sensível às concentrações tóxicas de Al; toxicidade de Mn também foi observada no início do desenvolvimento do feijoeiro (cv. Ouro Negro) em solo ácido de várzea da região Norte Fluminense (Andrade, 1997).

Dentre os macronutrientes, o P tem sido apontado como o mais limitante ao feijoeiro em solos de várzea, fato comprovado por diversos trabalhos (Santos e Silveira, 1996; Balizar e Fageria, 1996; Andrade 1997). Nestes solos podem ser citadas respostas do feijoeiro ao N (Peloso, Moraes e Dutra, 1990; Andrade, 1997) e também ao K (Dydia e Cunha, 1986; Duete, 1988; Andrade, 1997). Para o S e micronutrientes, poucas informações são encontradas para o feijoeiro cultivado nestes solos. Andrade (1997) encontrou teores foliares de S, B, Zn e Fe inferiores a faixa crítica, em feijoeiro (cv Ouro Negro) cultivado em solo de várzea da região Norte Fluminense. Agora para a soja, outra leguminosa, Galvão, Souza e Peres (1984) e Galvão (1990) encontraram respostas em crescimento e produção da cultura ao S, B, Cu, Zn e Mo, quando cultivada em solos de várzea.

Assim, objetivou-se neste trabalho, avaliar as condições de fertilidade e o efeito de macro e micronutrientes e da correção da acidez, sobre o crescimento e produção do feijoeiro cultivado em amostras de solos de várzea do sul de Minas Gerais.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, baseado na técnica do elemento faltante, foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, no período de agosto de 1995 a junho de 1996. Utilizaram-se amostras da camada de 0 a 20 cm de quatro solos de várzea, pertencentes às classes Glei Pouco Húmico (HGP), Glei Húmico (HGH), Orgânico (HO), artificialmente drenado e Aluvial (A), coletados no município de Lavras - MG, em várzea não sistematizada. Após secos ao ar, os solos foram peneirados em malha de 5 mm e analisados química e fisicamente.

As determinações químicas realizadas foram pH em H₂O; matéria orgânica; Ca, Mg e Al (extraídos pelo KCl 1 mol.L⁻¹); P, K, (extraídos pelo HCl 0,05 mol.L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol.L⁻¹); conforme Vettori (1969) com modificações da EMBRAPA (1979), sendo o Zn, Cu, Mn e Zn extraídos pelo DTPA. O enxofre (S - SO₄⁻), foi determinado por turbidimetria (Blanchar, Rehm e Cadwell, 1965). O boro foi extraído com água quente e determinado no extrato de acordo com o método da curcumina de Dible et al., descrito por Jackson (1970). O P foi determinado também pelo método da resina trocadora de ânions de acordo com Raji (1991). As análises físicas realizadas foram densidade de partícula, densidade do solo e textura (EMBRAPA, 1979).

Foi utilizado o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Carioca - MG, recomendada e utilizada por produtores do estado de Minas Gerais.

Foram realizados dois cultivos sucessivos em vasos com três dm³ de solo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial, 13 × 4, sendo 13 tratamentos fundamentados na técnica do elemento faltante, quatro solos de várzeas e três repetições. Os tratamentos foram: Testemunha (Test) = solo natural; Completo 1 (C1) = adubado com N, P, K, S, B, Cu, Zn + calagem; Completo 2 (C2) = completo 1 menos calagem + Ca e Mg

como sulfato; Completo 1 - calagem (C1 - Cal); Completo 1 - N (C1 - N); Completo 1 - P (C1 - P); Completo 1 - K (C1 - K); Completo 1 - S (C1 - S); Completo 1 - B (C1 -B); Completo 1 - Cu (C1 - Cu); Completo 1 - Zn (C1 - Zn); Completo 2 -Ca (C2 - Ca) e Completo 2 - Mg (C2 - Mg) e quatro solos: HGP, HO, HGH e A.

As doses de calcário aplicadas em cada solo, nos tratamentos que receberam calagem, foram baseadas em curvas de incubação obtidas em experimentos preliminares realizados em laboratório, visando elevar a saturação por bases (V) a 70%, de acordo com as recomendações de Raij et al. (1996) para o feijoeiro. Estas doses corresponderam a 10,27; 11,73; 16,33 e 6,87 t/ha (profundidade 0-20 cm), ou mais precisamente a 15,40; 17,60; 24,50 e 10,30 g/vaso (três dm³), respectivamente para os solos HGP, ORG, HGH e AL. Empregou-se um calcário dolomítico calcinado, com 35% de CaO, 14% de MgO e PRNT = 100%.

Quando pertinente ao tratamento, no primeiro (1^o) cultivo, foi aplicada uma adubação básica de plantio com 100 mg de N, 300 mg de P, 100 mg de K, 200 mg de Ca, 60 mg de Mg, 40 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn/dm³ de solo. As fontes utilizadas foram sais p.a.: Ca(H₂PO₄)₂; KH₂PO₄; NH₄H₂PO₄; NaH₂PO₄; NH₄NO₃; K₂SO₄; CaSO₄; MgSO₄; Mg(NO₃)₂; MgCl₂; H₃BO₃; CuCl₂ e ZnCl₂. As doses das fontes foram calculadas visando atender corretamente a adubação básica para cada tratamento.

No segundo (2^o) cultivo não foi feita qualquer aplicação de calcário; a adubação básica, quando pertinente, constituiu-se de 70 mg de N, 100 mg de P, 125 mg de K, 20 mg de S, 0,25 mg de B, 0,75 mg de Cu e 2,5 mg de Zn/dm³, aplicados antes do plantio.

Nos dois cultivos foram realizadas adubações de cobertura com N e K, de acordo com o desenvolvimento das plantas, à exceção dos tratamentos onde estes nutrientes foram omitidos e da testemunha. As doses de N e K foram estimadas, baseando-se nos teores adequados

destes nutrientes nos tecidos do feijoeiro e na possível produção de massa vegetal em cada tratamento. As fontes foram NH_4NO_3 e KNO_3 p.a.

Todos os vasos, após a aplicação do calcário nos tratamentos pertinentes, permaneceram em incubação por 30 dias com umidade correspondente a 60% do Volume Total de Poros (VTP) e temperatura média de 22°C. Quando secos, os solos foram revolvidos e aplicados os tratamentos, permanecendo incubados por mais 30 dias.

Posteriormente, foram semeadas oito sementes do feijoeiro por vaso, desbastando-se para duas plântulas cerca de uma semana após a emergência. Nos dois cultivos, das duas plantas conduzidas, uma foi colhida no florescimento (estádio R6) e a outra no final do ciclo, na época da maturação dos grãos (estádio R9).

Durante o período experimental, a umidade dos vasos foi mantida em torno de 70% do VTP, aferida através de pesagens periódicas dos vasos, completando-se o peso com água desmineralizada.

Em ambos os cultivos, após a secagem do material vegetal em estufa a 65 - 70° C, determinaram-se a matéria seca da parte aérea (hastes + folhas) das plantas colhidas no florescimento e no final do ciclo. Neste estágio, avaliaram-se, também, o peso seco de grãos, número de vagens e número de grãos por vagem.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Utilizou-se para as análises o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas - SAEG.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Características químicas e físicas dos solos utilizados

No Quadro 1, são mostrados os resultados das análises químicas e físicas dos solos utilizados, confirmando as informações de Freire e Novaes [19--], a respeito de que os solos Gleis são ricos em matéria orgânica, apresentando baixa fertilidade e de Rodrigues e Oliveira (1996) de que os solos de várzeas são muito heterogêneos, refletindo numa grande variação nas características físicas e químicas. As amostras dos solos (0 - 20 cm) utilizadas no experimento, apresentam textura média, sendo os solos HO e A aqueles com maior teor de argila. Os teores de matéria orgânica são médios (HGP e A) e altos (HGH e HO).

Comparando-se os resultados da análise química dos solos (Quadro 1), com as classes de fertilidade apresentadas pela Comissão... (1989) e Raij et al. (1996), observa-se que os mesmos são de baixa fertilidade, caracterizados por uma elevada acidez, teor e saturação por Al (m%) variando de baixo até muito alto, baixos teores de P e médios de K. À exceção do A, os solos apresentaram baixos teores de Ca e Mg, promovendo saturações por bases (V%) muito baixas. Para os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), comparando-se os teores determinados (Quadro 1) com os apresentados por Raij et al. (1996), observa-se que o B (nos quatro solos), o Cu (HO) e Zn (HGP, HGH e HO) apresentam-se em níveis baixos. Já o Fe (nos quatro solos) e Mn (nos solos HGP e AL) estão no nível alto. Para o enxofre, de acordo com Raij et al. (1996), apenas o HO apresenta o teor médio, os demais, apresentam teores altos. Os solos HO e HGH, por apresentarem teores de matéria orgânica bastante altos, mostram acidez (H + Al) e CTC (CTC a pH 7 = T) potenciais bastante elevadas conferindo a estes solos, certamente, também elevado poder tampão.

QUADRO 1. - Análises química e física de amostras dos solos utilizados no experimento.

Características	Solo			
	HGP	HO	HGH	A
Químicas¹				
pH em água (1:2,5)	4,6	4,7	5,0	4,8
P-Mehlich -1 (mg/dm ³)	5,0	3,0	4,0	5,0
P-resina(mg/dm ³)	8,0	12,0	9,0	9,0
K (mg/dm ³)	64	45	48	30
Ca (mmolc/dm ³)	8	5	7	17,0
Mg (mmolc/dm ³)	2	2	2	10
Al (mmolc/dm ³)	10	20	11	4
H + Al (mmolc/dm ³)	63	153	123	45
Soma de bases (mmolc/dm ³)	12	8	10	28
CTC efetiva - t (mmolc/dm ³)	22	28	21	32
CTC pH 7,0-T (mmolc/dm ³)	75	161	133	73
Saturação por Al - m (%)	46	71	52	13
Saturação por bases - V (%)	16	5	16	38
Carbono (g/dm ³)	17	61	139	17
Matéria Orgânica (g/dm ³)	30	106	239	22
S-SO ₄ ⁼ (mg/dm ³)	12,94	5,8	11,44	13,7
B (mg/dm ³)	0,06	0,03	0,03	0,03
Cu (mg/dm ³)	0,72	0,17	0,83	4,08
Fe (mg/dm ³)	117,97	90,22	112,65	299,00
Mn (mg/dm ³)	6,97	3,27	1,97	67,73
Zn (mg/dm ³)	0,09	0,07	0,09	1,08
Físicas²				
Argila (g/kg)	160	280	200	260
Areia grossa (g/kg)	40	20	30	10
Areia fina(g/kg)	580	380	320	310
Silte (g/kg)	220	320	450	420
Densidade de partícula - dp (g./cm ³)	2,66	2,15	1,81	2,77
Densidade do solo - ds (g./cm ³)	1,05	0,64	0,40	0,76
Classe Textural	Média	Média	Média	Média

¹ - Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo DCS/UFLA

² - Análise e interpretação textural realizadas no Laboratório de Física do solo do DCS/UFLA

4.3.2 Produção de matéria seca da parte aérea e de grãos.

Nos Quadros 2, 3, 4 e 5 são apresentados os resultados de produção de matéria seca da parte aérea e de grãos de feijoeiro, nos dois cultivos e total dos cultivos para os solos HGP, HO, HGH e A, respectivamente.

Observa-se pelos resultados obtidos no tratamento Testemunha, que a calagem e a adubação adequadas são práticas indispensáveis quando se pretende a obtenção de elevadas produtividades da cultura nestes solos, confirmando as informações da literatura, que os solos de várzeas, em sua grande maioria, são ácidos e de baixa fertilidade (Fageria, Oliveira e Dutra, 1996).

Para os tratamentos onde os nutrientes foram omitidos um a um, de maneira quase que unanime para todos os solos, o B (C1-B), o P (C1-P) e o K (C1-K), foram aqueles que mais limitaram o crescimento e a produção da leguminosa. A deficiência de B foi tão drástica que além da redução do crescimento da parte aérea e dos sintomas típicos de deficiência observados nas plantas, a produção de grãos foi inexistente em todos os solos. Para o P, o grau de limitação variou bastante entre os solos, embora, em todos os casos, a produção relativa de grãos situou-se abaixo de 50%. Para o K, em alguns solos a sua omissão reduziu o crescimento e a produção do feijoeiro mais acentuadamente que o próprio P, como se observa para o HO e A. Tal como observado para o P, a omissão do K da adubação reduziu a produção relativa de grãos pelos solos a valores inferiores a 50%.

As grandes limitações observadas para o B, P e K no crescimento e na produção do feijoeiro nos quatro solos de várzea estudados, confirmam a baixa fertilidade que estes solos apresentam nestes nutrientes mostrada na análise química do solo (Quadro 1).

QUADRO 2 - Produção de matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA-R6) e na maturação (MSPA-R9) e de grãos na maturação (MSGR-R9), em gramas por vaso, no primeiro (1º), segundo (2º) e total dos cultivos, e produção relativa de grãos (PR), em percentagem, do feijoeiro cultivado no solo Glei Pouco Húmico (HGP).

Tratamento	MSPA - R6			MSPA - R9			MSGR - R9			PR (%) ¹
	1º	2º	Total	1º	2º	Total	1º	2º	Total	
C ₁	4,45 abc	10,34 a	14,79 a	7,62 a	8,14 a	15,76 a	11,93 ab	8,30 a	20,23 a	100
C ₂	5,23 ab	8,20 b	13,43 a	5,32 abc	5,93 bc	11,25 b	8,17 bcd	6,93 ab	15,10 bc	75
C ₁ -Cal	3,42 abcd	5,77 c	9,19 bc	5,28 abc	4,05 de	9,33 bcd	8,33 bcd	3,84 c	12,17 cde	60
C ₁ -N	2,37 bcde	3,79 d	6,16 cd	4,23 bcd	3,34 e	7,57 cd	5,79 cde	3,38 cd	9,17 de	45
C ₁ -P	0,76 de	2,44 e	3,20 de	3,81 bcd	3,34 e	7,15 cd	4,74 def	3,1 cd	8,15 e	40
C ₁ -K	4,24 abc	5,62 c	9,86 b	6,25 ab	4,86 cd	11,11 b	8,53 bcd	1,69 de	10,22 de	50
C ₁ -S	3,58 abcd	5,77 c	9,35 b	6,07 ab	4,84 cd	10,91 b	9,05 abcd	1,33 e	10,38 de	51
C ₁ -Zn	2,20 cde	5,02 cd	7,22 bc	6,49 ab	5,20 bcd	11,69 b	10,04 abc	7,70 a	17,74 ab	88
C ₁ -B	0,93 de	1,43 ef	2,36 e	2,50 cd	4,06 de	6,56 d	0,00 f	0,00 e	0,00 f	0
C ₁ -Cu	5,44 a	10,30 a	15,74 a	7,49 ab	7,72 a	15,21 a	13,86 a	7,69 a	21,55 a	106
C ₂ -Ca	3,48 abcd	5,43 c	8,91 bc	6,01 ab	4,08 de	10,09 bc	7,93 bcd	5,71 b	13,64 bcd	67
C ₂ -Mg	5,09 abc	8,03 b	13,12 a	5,48 ab	6,34 b	11,82 b	7,57 bcd	5,71 b	13,28 bcd	66
Testemunha	0,37 e	0,86 f	1,23 e	1,45 d	1,09 f	2,54 e	1,79 ef	0,72 e	2,51 f	12

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR(%) = MSGR total (TRAT)/MSGR total (C1) ×100.

QUADRO 3 - Produção de matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA-R6) e na maturação (MSPA-R9) e de grãos na maturação (MSGR-R9), em gramas por vaso, no primeiro (1º), segundo (2º) e total dos cultivos, e produção relativa de grãos (PR), em percentagem, do feijoeiro cultivado no solo Orgânico (HO).

Tratamento	MSPA - R6			MSPA - R9			MSGR - R9			PR (%) ¹
	1º	2º	Total	1º	2º	Total	1º	2º	Total	
C ₁	3,74 abcd	13,41 a	17,15 a	8,05 a	8,84 b	16,89 ab	17,70 a	11,30 bc	29,00 a	100
C ₂	4,96 ab	10,61 bc	15,57 a	6,98 ab	7,34 cd	14,32 bc	14,52 ab	9,66 cd	24,18 b	83
C ₁ -Cal	1,26 de	5,74 e	7,00 d	2,47 cd	7,85 bc	10,32 de	2,84 ef	7,13 e	9,97 de	34
C ₁ -N	5,19 a	8,41 d	13,60 ab	7,78 a	10,38 a	18,19 a	12,47 bc	13,76 a	26,23 ab	90
C ₁ -P	0,61 e	3,09 g	3,70 e	3,51 cd	4,22 f	7,73 e	5,67 de	4,34 f	10,01 de	34
C ₁ -K	4,16 abcd	4,24 fg	8,40 cd	4,96 bc	6,21 bc	11,17 cd	5,14 de	1,38 gh	6,52 e	22
C ₁ -S	5,11 ab	5,20 ef	10,31 c	8,92 a	5,11 ef	14,03 bc	9,38 b	2,26 gh	11,64 d	40
C ₁ -Zn	4,48 abc	11,46 b	15,94 a	8,64 a	7,97 bc	16,61 ab	16,78 ab	8,19 de	24,97 ab	86
C ₁ -B	0,71 e	0,98 h	1,69 e	2,57 cd	5,00 f	7,57 e	0,00 f	0,00 h	0,00 f	0
C ₁ -Cu	4,32 abc	10,15 c	14,47 cd	7,15 ab	8,01 bc	15,16 ab	15,99 ab	9,76 cd	25,75 ab	89
C ₂ -Ca	2,23 bcde	7,48 d	9,71 cd	2,45 cd	7,18 cd	9,63 de	2,62 ef	11,34 bc	13,96 cd	48
C ₂ -Mg	2,04 cde	8,51 d	10,55 bc	3,67 c	7,75 bc	11,42 cd	4,67 def	12,21 ab	16,88 c	58
Testemunha	0,44 e	0,41 h	0,85 e	0,77 d	0,51 g	1,28 f	0,03 f	0,0 h	0,03 f	0,1

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR(%) = MSGR total (TRAT)/MSGR total (C1) × 100.

QUADRO 4 - Produção de matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA-R6) e na maturação (MSPA-R9) e de grãos na maturação (MSGR-R9), em gramas por vaso, no primeiro (1º), segundo (2º) e total dos cultivos, e produção relativa de grãos (PR), em percentagem do feijoeiro cultivado no solo Glei Húmico (HGH).

Tratamento	MSPA - R6			MSPA - R9			MSGR - R9			PR (%) ¹
	1º	2º	Total	1º	2º	Total	1º	2º	Total	
C ₁	5,69 a	9,34 b	15,03 a	7,71 ab	6,18 cd	13,39 bc	15,87a	5,75 b	21,62 ab	100
C ₂	5,69 a	3,08 e	8,77 bc	8,90 a	6,53c	15,43 ab	14,23 abc	9,07 a	23,30 a	108
C ₁ -Cal	1,46 bc	11,75 a	13,21 a	2,95 def	9,29 a	12,24 bcd	3,41 fg	9,12 a	12,53 cd	58
C ₁ -N	3,00 abc	6,17 c	9,17 bc	7,21 abc	5,28 d	12,49 bcd	10,87 bcd	6,12 b	16,99 bc	77
C ₁ -P	0,50 c	0,89 f	1,39 d	0,65 f	1,29 ij	1,94 f	0,29 g	1,85 c	2,14 f	10
C ₁ -K	2,73 bc	3,60 e	6,33 c	5,32 bcd	3,55 fg	8,87 e	5,85 ef	1,34 cd	7,19 e	35
C ₁ -S	3,11 abc	3,86 de	6,97 bc	7,65 ab	2,67 gh	10,32 de	11,38 abc	2,33 c	13,71 cd	63
C ₁ -Zn	2,66 bc	4,99 cd	7,65 bc	8,57 a	5,06 de	13,63 bc	15,29 ab	5,46 b	20,75 ab	96
C ₁ -B	0,69 c	0,94 f	1,63 d	2,36 ef	1,66 hi	4,02 f	0,00 g	0,00 d	0,00 f	0
C ₁ -Cu	3,86 ab	6,13 c	9,99 b	9,41 a	8,01 b	17,42 a	15,28 ab	5,62 b	20,90 ab	97
C ₂ -Ca	3,26 abc	3,52 e	6,78 c	4,73 cde	4, 02 ef	8,75 e	6,30 def	4,68 b	10,98 de	51
C ₂ -Mg	3,67 ab	2,63 e	6,30 c	7,23 abc	4,05 ef	11,28 cde	9,43 cde	2,39 c	11,82 de	55
Testemunha	0,45 c	0,37 f	0,82 d	0,71 f	0,46 j	1,17 f	0,09 g	0,0 d	0,09 f	0,4

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si (Tukey 5%).

¹ PR(%) = MSGR total (TRAT)/MSGR total (C1) ×100.

QUADRO 5 - Produção de matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA-R6) e na maturação (MSPA-R9) e de grãos na maturação (MSGR-R9), em gramas por vaso, no primeiro (1º), segundo (2º) e total dos cultivos, e produção relativa de grãos (PR), em percentagem, do feijoeiro cultivado no solo Aluvial (A).

Tratamento	MSPA - R6			MSPA - R9			MSGR - R9			PR(%) ¹
	1º	2º	Total	1º	2º	Total	1º	2º	Total	
C ₁	3,57 ab	7,09 a	10,66 a	7,56 a	6,15 a	13,71 a	11,33 a	8,37 a	19,70 a	100
C ₂	2,56 abc	5,30 bc	7,86 abc	7,34 a	5,49 abc	12,83 abc	10,01 ab	7,04 abc	17,05 ab	86
C ₁ -Cal	3,55 ab	3,77 d	7,32 bc	6,61 bc	3,58 efg	10,19 bcde	10,46 ab	5,48 cd	15,94 ab	81
C ₁ -N	2,86 abc	4,31 cd	7,17 bc	4,18 cd	3,70 efg	7,88 de	7,69 abc	6,18 bc	13,87 bc	70
C ₁ -P	0,58 c	2,21 ef	2,79 de	4,46 bcd	2,56 gh	7,02 ef	5,67 bcd	3,94 d	9,61 cd	49
C ₁ -K	2,06 abc	3,40 de	5,46 cd	6,39 abc	3,28 fg	9,67 cde	4,11 cde	1,51 e	5,62 de	28
C ₁ -S	3,05 abc	6,06 ab	9,11 ab	6,91 abc	4,59 cde	11,50 abc	11,54 a	6,81 abc	18,35 ab	93
C ₁ -Zn	3,99 a	6,65 a	10,64 a	7,15 ab	5,11 abc	12,26 abc	11,85 a	7,67 ab	19,52 a	99
C ₁ -B	0,73 bc	1,34 f	2,07 e	7,50 a	3,78 def	11,28 abc	0,00 e	0,0 e	0,00 f	0
C ₁ -Cu	3,30 abc	7,23 a	10,53 a	7,17 ab	5,98 ab	13,15 ab	11,27 a	6,53 bc	17,80 ab	90
C ₂ -Ca	2,18 abc	4,63 cd	6,81 bc	7,60a	4,76 cde	12,36 abc	9,00 abc	5,63 cd	14,63 b	74
C ₂ -Mg	2,43 abc	6,30 ab	8,73 ab	6,10 abc	4,92 bcd	11,02 abcd	11,48 a	6,74 abc	18,22 ab	92
Testemunha	0,73 bc	1,71 f	2,44 de	2,52 d	1,53 h	4,05 f	2,56 de	1,24 e	3,80 ef	19

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR(%) = MSGR total (TRAT)/MSGR total (C1) × 100.

A omissão da calagem (C1-Cal) e do S (C1-S), apresentaram respostas bastante variadas em função do tipo de solo. Para ambos os tratamentos, as suas omissões afetaram mais drasticamente o crescimento e a produção do feijoeiro no solo HO, menos intensamente no A e de maneira intermediária no HGP e HGH, embora, à exceção do A, em todos os casos, de maneira significativa. O solo HO foi aquele que apresentou o menor teor de S na análise química do solo (Quadro 1), cujo valor, de acordo com Rajj et al. (1996), encontra-se nos limites das classes de fertilidade baixo/médio; os demais solos, na classe de teor alto. Como nestes solos (HGP, HGH e A) o S encontra-se em teores aproximadamente iguais (Quadro 1), mas a produção do feijoeiro foi bastante variada quando da sua omissão na adubação, inclusive reduzindo significativamente no HGP e HGH e não no A, conclui-se que as classes de fertilidade apresentada pelos autores citados, não se aplica totalmente a todos os solos, principalmente aos de várzeas que apresentam características químicas e físicas próprias e bastante diversificadas.

Com relação ao tratamento onde a calagem foi omitida (C1-Cal) observa-se, também no Quadro 1, que embora o solo A apresente um valor de pH semelhante aos outros solos, os seus teores de Ca e Mg são bem mais elevados que os demais, o que possivelmente, permitiu a este solo, uma produção de grãos maior que os demais neste tratamento (Quadro 6), embora, em relação ao tratamento C1, apresentasse uma produção relativa de 81% (Quadro 5).

A omissão do N (C1-N), foi outro tratamento que apresentou, à exceção do HO, redução significativa no crescimento e na produção de grãos, embora, com efeitos variados entre os solos HGP, A e HGH, seguindo nesta ordem decrescente de limitação. Embora o solo HO não tenha sido aquele de maior teor de matéria orgânica (Quadro 1), seu teor é elevado e, possivelmente, com N suficiente para atender as exigências das plantas, pelo menos nos dois cultivos realizados, promovendo a maior produção entre os solos neste tratamento

QUADRO 6 - Produção de matéria seca total (soma dos dois cultivos) da parte aérea na maturação (MSPA-R9) e de grãos (MSGR-R9), em gramas por vaso, do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A).

Tratamento	MSPA - R9				MSGR - R9			
	HGP	HO	HGH	A	HGH	HO	HGH	A
C ₁	15,76 ab	16,89 a	13,89 b	13,71 b	20,23 b	29,00a	21,62 b	19,70 b
C ₂	11,25 c	14,32 ab	15,43 a	12,83 bc	15,10 b	24,18 a	23,30 a	17,05 b
C ₁ -Cal	9,33 b	10,32 ab	12,24 a	10,19 ab	12,17 b	9,97 b	12,53 ab	15,94 a
C ₁ -N	7,57 c	18,19 a	12,49 b	7,88 c	9,17 c	26,23 a	16,99 b	13,87 b
C ₁ -P	7,15 a	7,73a	1,94 b	7,02 a	8,15 a	10,01 a	2,14 b	9,61 a
C ₁ -K	11,11 a	11,17 a	8,87 a	9,67 a	10,22 a	6,52 b	7,19 ab	5,62 b
C ₁ -S	10,91 b	14,04 a	10,32 b	11,50 b	10,38 b	11,64 b	13,71 b	18,35 a
C ₁ -Zn	11,69 b	16,61 a	13,63 b	12,26 b	17,74 b	24,97 a	20,75 b	19,52 b
C ₁ -B	6,56 b	7,57 b	4,02 c	11,28 a	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₁ -Cu	15,21 ab	15,16 ab	17,42 a	13,15 b	21,55 b	25,75 a	20,90 bc	17,80 c
C ₂ -Ca	10,09 ab	9,63 b	8,75 b	12,36 a	13,64 ab	13,96 ab	10,98 b	14,63 a
C ₂ -Mg	11,82 a	11,42 a	11,28 a	11,02 a	13,28 b	16,88 a	11,82 b	18,22 a
Testemunha	2,54 ab	1,28 b	1,17 b	4,5 a	2,51 ab	0,03 b	0,09 b	3,80 a

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas, dentro de cada parâmetro, não diferem entre si (Tukey 5%).

(Quadro 6, C1-N). Sabe-se que a matéria orgânica é a principal fonte de N do solo, mas a sua disponibilidade depende da qualidade do material orgânico (relação C/N) e da atividade microbiológica no solo (Raij, 1991).

O tratamento C2 (C1-calagem + Ca e Mg como sulfato) avalia apenas o efeito do pH do solo, visto que Ca e o Mg foram aplicados na adubação básica. À exceção do HGH, nos demais solos, a redução na produção relativa de grãos neste tratamento, variou de 14 (A), 17 (ORG) a 25% (HGP), embora, para o A não tenha sido significativo. Sabe-se que em pH baixo, como aqueles observados para todos os solos estudados (Quadro 1), ocorre uma baixa atividade microbiana, redução na disponibilidade de P e aumento da solubilidade do Fe e, principalmente do Al e Mn (Raij, 1991). No Quadro 1, observa-se que o solo HGH apresenta o valor de pH ácido, o teor e a saturação por Al elevados e Mn baixo. Mas, seu teor de matéria orgânica é bastante elevado (230g/dm^3), bem maior que os demais solos. Segundo McLean e Brown (1984), os efeitos tóxicos de íons Al, Fe e Mn são diminuídos pelo poder complexante dos compostos orgânicos; este fato, possivelmente colaborou para que o HGH não apresentasse redução na produção no tratamento C2 em relação ao C1 (Quadro 4). Justifica-se, também, o efeito não significativo do tratamento C2 no solo A (Quadro 5), devido aos menores teores e saturação por Al (Quadro 1), mas a queda de 14% na produção relativa, deve-se possivelmente, ao seu elevado teor de Mn (Quadro 1).

Os tratamentos C2-Ca e C2-Mg, avaliaram o potencial de fornecimento de Ca e Mg dos solos às plantas, embora os efeitos sejam acrescidos daqueles inerentes ao pH baixo, como já comentado anteriormente para o tratamento C2. Pelos Quadros 2, 3, 4 e 5, observa-se que a omissão destes nutrientes, promoveu uma redução significativa da produção de grãos pela cultura, à exceção do AL no tratamento C2-Mg (Quadro 5), fato este que pode ser justificado

pelo teor médio/alto ($10 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$) que este solo apresentou na análise química do solo (Quadro 1), enquanto que nos demais, os teores foram baixos (Comissão..., 1989).

As omissões de cobre (C1-Cu) e de zinco (C1-Zn), apesar de não apresentarem efeitos significativos na produção de grãos pelo feijoeiro cultivado nos solos de várzea estudados, em alguns casos reduziram a produção de matéria seca da parte aérea (Quadros 2, 3, 4 e 5). De acordo com Malavolta (1980), o cobre forma complexos bastante estáveis com os compostos orgânicos do solo e este fato é uma condição de carência do micronutriente em solos com elevados teores de matéria orgânica; fato não bem caracterizado para os solos HO e HGH, que apresentam elevados teores de matéria orgânica (Quadro 1).

Comparando-se os solos estudados (Quadro 6), através da produção total de matéria seca da parte aérea no final do ciclo (MSPA-R9) e de grãos (MSGR-R9), verifica-se que todos, indistintamente, apresentaram limitações químicas severas ao crescimento e produção do feijoeiro, o que é mostrado pelos resultados do tratamento Testemunha. De maneira geral, o solo HO foi aquele que mais limitações apresentou ao crescimento e produção da cultura e, também, aquele que mostrou o melhor potencial de produção quando eficientemente corrigido e adubado, como se verifica pelo tratamento C1 (Quadro 6).

Sumarizando os efeitos das omissões da calagem e dos nutrientes da adubação, sobre a produção total de grãos, considerando apenas aqueles tratamentos que promoveram uma queda maior do que 10% na produção relativa ($PR < 90\%$) (Quadros 2, 3, 4 e 5) têm-se a seguinte ordem decrescente de limitações para os quatro solos estudados:

HGP: B > P > N > K = S > Cal > Mg = Ca > Zn

HO: B > K > P = Cal > S > Ca > Mg > Zn > Cu

HGH: B > P > K > Ca > Mg > Cal > S > N

A: B > K > P > N > Ca > Cal

Considerando a média de produção total de grãos dos quatro solos, também para queda maior que 10% na produção relativa ($PR < 90\%$), obtém-se a seguinte ordem de limitação:

Média dos solos: $B > P > K > \text{Cal} > \text{Ca} > \text{S} > \text{Mg} > \text{N}$

Tomando-se como base a redução da produção a 40% ou menos em relação ao tratamento completo (C1), para caracterização de deficiência severa do solo (Kilian e Velly, citados por Chaminade, 1972), os dados de produção relativa de grãos apresentados nos Quadros 2, 3, 4 e 5, mostram que se considerarmos esta redução na produção a 50% ou menos, todos os solos se enquadram nesta categoria para B, P e K.

Não são abundantes na literatura informações sobre as limitações nutricionais dos solos de várzea ao crescimento e produção do feijoeiro. Para Baligar e Fageria (1996), Santos e Silveira (1996) e Andrade (1997), o P foi o nutriente que mais limitou o desenvolvimento e produção do feijoeiro em solos de várzea. Para N e para K (Baligar e Fageria, 1996; Andrade 1997) também têm sido encontrado respostas significativas da leguminosa às suas aplicações. Trabalhando em um solo glei hidromórfico, Ruschel, Mesquita Rocha e Penteadó (1970) encontraram respostas do feijoeiro à aplicação de boro. Quaggio et al. (1985) encontraram grande resposta em produção do feijoeiro, às aplicações de calcário em solo orgânico do Vale do Ribeira - SP.

4.3.3 Número de vagens por planta e número de grãos por vagem

O número de vagens por planta e de grãos por vagem, certamente, são características controladas geneticamente na planta. Mas, o Quadro 7, mostra que a nutrição da planta, conferida pela fertilidade do solo e pelos tratamentos, afeta grandemente estas

QUADRO 7 - Média dos dois cultivos do número de vagens por planta e número de grãos por vagem, do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A).

Tratamento	Nº de vagens / planta				Nº de grãos / vagem			
	HGP	HO	HGH	A	HGH	HO	HGH	A
C ₁	9,50 aBC	12,83 aA	10,17 abB	7,67 bC	5,13 aB	5,75 abAB	4,86 bcB	6,24 aA
C ₂	6,83 bcB	9,83 bcdA	9,50 abcA	7,17 bB	5,40 aB	6,11 aAB	6,36 aA	5,7 abAB
C ₁ -Cal	7,00abcA	7,50 deA	7,16 cdeA	8,00 bA	4,64 abA	5,12 abA	5,38 abA	4,85 abcA
C ₁ -N	5,17 cC	9,67 bcdA	8,00 bcdeAB	6,50 bcBC	4,97 abB	5,93 abA	5,22 abcAB	5,38 abA
C ₁ -P	4,50 cA	5,33 eA	2,16 fB	4,50 cdA	4,89 abA	4,78 bA	2,83 dB	4,85 abcA
C ₁ -K	5,66 cA	7,33 deA	6,16 eA	6,16 bcA	4,64 abA	3,13 cB	3,05 dB	2,95 dB
C ₁ -S	6,00 cB	8,0 cdA	6,66 deAB	8,16 abA	3,83 bB	4,76 bAB	4,73 bcAB	5,41 abA
C ₁ -Zn	9,16 abB	11,50 abA	9,00 abcdB	7,83 bB	5,00 abB	5,74 abAB	6,30 aA	5,70 abAB
C ₁ -B	0,00 dA	0,00 fA	0,00 A	0,00 eA	0,00 cA	0,00 dA	0,00 eA	0,00 eA
C ₁ -Cu	9,16 abAB	10,16 bcA	10,66 aA	8,00 bB	5,62 aA	5,90 abA	5,94 abA	5,50 abA
C ₂ -Ca	7,00 abcB	7,50 deB	7,50 cdeB	10,67 aA	5,23 aA	5,05 abA	4,05 cdB	3,60 cdB
C ₂ -Mg	6,50 cAB	7,33 deAB	5,67 eB	7,83 bA	5,74 aA	5,05 abA	5,27 abcA	5,60 abA
Testemunha	1,50 dA	0,33 eA	0,66 fA	2,17 deA	4,80 abA	0,25 dB	0,75 eB	4,64 bcA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, para cada parâmetro, não diferem entre si (Tukey 5%).

características. Como a produção de grãos está diretamente relacionada com número de vagens por planta e de grãos por vagem, como era esperado, o comportamento destas características devido aos tratamentos, foi praticamente o mesmo daquele observado para o crescimento e produção de grãos para todos os solos, embora com efeitos menos drásticos para alguns tratamentos. De maneira geral, as maiores e mais frequentes limitações nestas características foram para os tratamentos C1-B, C1-P, C1-K e C1-S.

Também no número de grãos por vagem (Quadro 7), era esperado um efeito mais drástico dos tratamentos onde o Ca não foi aplicado (C1-Cal e C1-Ca) sobre esta característica, visto este nutriente desempenhar uma função importante na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico (Faquin, 1994). Lembra-se que nestes tratamentos houve uma redução significativa na produção de grãos em todos os solos (Quadros 2, 3, 4 e 5).

Comparando-se os solos (Quadro 7), observa-se que tal como ocorreu para a produção total de grãos (Quadro 6), o solo HO foi aquele que menores limitações apresentou para estas características e, também, aquele que apresentou o maior número de vagens por planta e de grãos por vagem, embora não diferente do AL nesta última característica quando adequadamente corrigido e adubado (C1).

4.4 CONCLUSÕES

- 1 - Os solos de várzea estudados apresentaram deficiências severas de B, P e K, com grandes limitações no crescimento e na produção do feijoeiro.
- 2 - As deficiências de N, Ca e Mg não foram tão severas, mas afetaram significativamente o crescimento e a produção da cultura.

- 3 - A calagem foi uma prática essencial para o cultivo do feijoeiro nestes solos.
- 4 - Os solos não apresentaram limitações de Cu e Zn para o feijoeiro nos dois cultivos realizados.

4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, W.E. de B. **Limitações nutricionais para a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) e do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em cultivo sucessivo em solo de várzea da região Norte Fluminense.** Lavras: UFLA, 1997. 125p. (Tese-Doutorado em Fitotecnia)
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. Nutrient use efficiency in acid soils. Nutrient management and plant use efficiency. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SOIL-PLANT INTERACTION AT LOW PH, 4, Belo Horizonte, 1996. **Proceedings...** Dordrecht: Kluwer, 1996. (No prelo).
- BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acids. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v.29, n.1, p.71-72, Jan./Feb. 1965.
- CHAMINA de, R. Recherches sur la fertilité et la fertilisation des sols en régions tropicales. **L'Agronomie Tropicale**, Rennes, v.27, n.9, p.891-904, Sept. 1972.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 4ª Aproximação.** Lavras, 1989. 159p.
- DUETE, W.L.C. **Avaliação da fertilidade de quatro solos do recôncavo baiano para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Viçosa: UFV, 1988. 94p. (Dissertação- Mestrado em Fitotecnia).
- DYNIA, J.F.; CUNHA, N.G. da. Limitações nutricionais do feijoeiro em solo brunziem avermelhado na região de Corumbá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.11, p.219-221, nov. 1986.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do triângulo mineiro.** Rio de Janeiro, 1982. 526p. (Boletim de Pesquisa, 1).

- FAGERIA, N.K. Soil acidity affects availability of nitrogen, phosphorus and potassium. **Better Crops International**, Norcross, v.10, n.1, p.8-9, June 1994.
- FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P. de; DUTRA, L.G. Limitações químicas dos solos de cerrado e de várzeas. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções**. Goiânia, 1996. p.8-11. (EMBRAPA-CNPAF. Documento, 65).
- FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an oxisol. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SOIL-PLANT INTERACTION AT LOW PH, 4, Belo Horizonte, 1996, **Proceedings...** Dordrecht: Kluwer, 1996. (No prelo).
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras:ESAL: FAEPE,1994. 227p.
- FREIRE, F.N.; NOVAIS, R.F. Solos de várzeas: características e problemas relativos a fertilidade. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. **Provárzea nacional: 1 hectare vale por 10**. Brasília, [19--] p.29-38 (Informação Técnica, 1).
- GALRÃO, E.Z. Aplicação de micronutrientes e calcário no rendimento da soja em solo de várzea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3. p.381-384, set./dez. 1990.
- GALRÃO, E.Z.; SOUZA, D.M.G. de; PERES, T.R.R. Caracterização de deficiências nutricionais em solos de várzeas da região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.9, p.1091-1101, set. 1984.
- GUEDES, G.A.A. de; JUNQUEIRA NETTO, A. Calagem e adubação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.4, n.46, p.21-23 out. 1978.
- JAKSOM, M.L. **Análise química de suelos**. 2 ed. Barcelona: Omega, 1970. 662p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômicas Ceres, 1980. 251p.
- McLEAN, E.O.; BROWN, J.R. Crop response to lime in the midwest × united state. In: ADANS, F. **Soil acidity and liming** Madison: ASA/CSSA/SSA, 1984. p.267-304.
- PAULA, M.B. de **Eficiência de extratores e níveis críticos de boro disponível em amostras de solos aluviais e hidromórficos sob cultura do arroz inundado**. Lavras: UFLA, 1995. 69p. (Tese- Doutorado em Fitotecnia)

- PELOSO, M.J.D.; MORAES, E.A.; DUTRA, L.S. Efeito do parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijoeiro de inverno com irrigação por aspersão, e em várzeas, no Estado de Goiás. In: REUNIÃO SOBRE FEIJOEIRO IRRIGADO, 1, Goiânia, 1988, **Anais...** Goiânia: EMBRAPA, 1990. p.94-95. (EMBRAPA-CNPAF. Documento, 27).
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; BATAGLIA, O.C. Calagem para rotação feijão-milho verde em solo orgânico do Vale do Rio Ribeira de Iguape (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. v.9,n.3, p.255-261, set./dez. 1985.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; YANAI, K. Resposta da abobrinha italiana a doses de calcários com diferentes teores de magnésio em solo orgânico do Vale do Ribeira-SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.2, p.167-173, maio/ago. 1987.
- RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 342p.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. FURLANI, A.M.C., (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RODRIGUES, T.E.; OLIVEIRA, R.C. de. Solos de várzeas da Amazônia: uso e potencialidade. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTA, 22 Manaus, 1996. **Palestras...** Manaus: SBCS/UA/EMBRAPA/FCA/IMPA, 1996. p. 215-221.
- RUSCHEL, A.P.; MESQUITA ROCHA, A.C.; PENTEADO, A.F. Efeito do boro e molibdênio aplicados a diferentes revestimentos da semente de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.5, n.3, p.49-52, 1970.
- SANTOS, A.B.dos; SILVEIRA, P.M. da. Cultivo em várzeas. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (coord.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.589-617.
- ⁴SILVEIRA, P.M. da. **Drenagem para a cultura do feijão**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1992. 31p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica, 26).
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. Equipe Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).

5 CAPÍTULO II

NUTRIÇÃO MINERAL DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS.

RESUMO

As deficiências nutricionais em macro e micronutrientes do feijoeiro (cv.Carioca - MG) cultivado em quatro solos de várzea do Sul de Minas Gerais, foram avaliadas em trabalho conduzido em casa de vegetação do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. O experimento foi conduzido em vasos de três dm³, com dois cultivos sucessivos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 13 × 4, sendo 13 tratamentos fundamentados na técnica da diagnose por subtração, quatro solos de várzea - Glei Pouco Húmico, Orgânico, Glei Húmico e Aluvial e três repetições. Os resultados mostraram que os solos estudados não supriram as exigências nutricionais do feijoeiro em B e nos macronutrientes, apresentando-se com limitações severas em B, P e K, cujos sintomas visuais de deficiência foram claramente observados nas plantas. Nos dois cultivos realizados, os solos supriram as exigências da cultura em Cu e Zn, embora, a curto-médio prazo, sob condições de cultivo intensivo, possam tornar-se limitantes. A calagem é essencial ao feijoeiro nestes solos para fornecimento de Ca e Mg e neutralização do Mn e Al tóxicos.

MINERAL NUTRITION OF THE BEAN PLANT CULTIVATED ON LOWLAND SOILS FROM THE SOUTH OF MINAS GERAIS

ABSTRACT

The nutritional deficiencies in macro and micronutrients of the bean plant (cv Carioca-MG) cultivated on four lowland soils from the South of Minas Gerais-Brazil, were evaluated in a work conducted in a greenhouse at the Department of Agriculture of the Universidade Federal de Lavras-MG. The experiment was conducted in 3dm³ pots with two successive croppings. The experimental design the completely randomized, in a 13 × 4 factorial scheme, being 13 treatments based upon the subtraction diagnosis technichs and four lowland soils: Low Humic Gley, Bog soil, Humic Gley and Aluvial soil and three replications. The results showed that the studied soils did not supply nutritional requirements of the bean plant in B and macronutrients, presenting severe limitations in B, P and K, whose visual deficiency symptoms were clearly observed in plants. In both the cultivations performed, the soils supply the crop requirements in Cu and Zn, although on short-medium term, under intensive cultivation conditions, they may become limiting. Liming is essential to the bean plant on these soils for supplying Ca and Mg and neutralizing Mn and Al toxicity.

5.1 INTRODUÇÃO

O uso racional das áreas de várzeas irrigáveis, representa, para vários estados brasileiros, a única alternativa para a expansão econômica da fronteira agrícola. Para utilizar tais áreas, é importante conhecer as principais alterações químicas que ocorrem nestes solos,

provocadas pela fertilização e correção ou mesmo pelo arejamento deficiente em certas épocas do ano, que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Por estas razões, cada nutriente precisa ser estudado para melhor entender as suas transformações e disponibilidade às plantas nesta condição. Fazendo-se uso dos conhecimentos básicos adquiridos e da capacidade do solo em suprir nutrientes às plantas, pode-se, quando necessário, fazer a correta adoção de práticas corretivas de adubação, ou seja, fazer o manejo adequado da fertilidade do solo (Vale, Guilherme e Guedes, 1993).

O feijoeiro mostra-se como grande opção para o cultivo em solos de várzeas no período da seca, principalmente em rotação com arroz e outras culturas (Moraes e Dynia, 1992). Os solos de várzeas, de acordo com Fageria, Oliveira e Dutra (1996), em sua grande maioria, apresentam-se ácidos e de baixa fertilidade.

Como todas as leguminosas, o feijoeiro é uma cultura exigente em pH e, segundo Guedes e Junqueira Netto (1978), a faixa adequada está entre 5,5 e 6,5. A espécie é considerada também, bastante sensível à concentrações tóxicas de Al e Mn (Rosolem, 1987; Fageria e Santos, 1996), condição bastante comum em solos de várzea (Fageria, Oliveira e Dutra, 1996). Muitos trabalhos têm mostrado que o feijoeiro é bastante exigente em macro e micronutrientes (Rosolem, 1987; EL-Runsy, 1992; Rosolem e Marubayashi, 1994; Fageria e Souza, 1995). Assim, para o cultivo racional desta leguminosa em solos de várzea, torna-se importante a avaliação da real necessidade de calagem e da aplicação de nutrientes.

O melhor método de avaliar a capacidade de um solo fornecer determinado nutriente para as plantas, é determinar a quantidade absorvida e acumulada do mesmo através de cultivos sucessivos, sob condição de disponibilidade adequada dos demais. Neste caso, a planta atua como extrator ideal do nutriente do solo e assim a fertilidade do solo pode ser inferida pela

avaliação do estado nutricional da planta, através dos métodos da diagnose visual - aparecimento de sintomas típicos de deficiência ou toxicidade - e pela diagnose foliar - teores dos nutrientes nas folhas.

Este trabalho teve como objetivos avaliar as limitações na nutrição do feijoeiro em macro e micronutrientes, quando cultivado em amostras de quatro solos de várzea do Sul de Minas Gerais.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos de três dm³ em casa de vegetação do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, utilizando amostras da camada superficial (0-20 cm) de quatro solos de várzea pertencentes às classes Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), artificialmente drenado, Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A), coletados em Lavras-MG em várzea não sistematizada. A caracterização química e física dos solos foram apresentadas e discutidas no Capítulo I.

Foram realizados dois cultivos sucessivos com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Carioca-MG. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 13 × 4, sendo 13 tratamentos fundamentados na técnica do elemento faltante, quatro solos de várzea e três repetições. Os tratamentos foram: Testemunha (Test) = solo natural; Completo 1 (C1) = adubado com N, P, K, S, B, Cu, Zn + calagem; Completo 2 (C2) = completo 1 menos calagem + Ca e Mg como sulfato; Completo 1 - calagem (C1 -Cal); Completo 1 - N (C1 -N); Completo 1 - P (C1 -P); Completo 1 -K (C1 -K); Completo 1 - S (C1 -S); Completo 1 - B (C1 -B); Completo 1 - Cu (C1 -Cu); Completo 1 - Zn (C1 -Zn); Completo 2 -Ca (C2 -Ca) e Completo 2 - Mg (C2 -Mg) e quatro solos: HGP, HO, HGH e A.

O calcário dolomítico, quando pertinente ao tratamento, foi aplicado visando elevar V a 70%, sendo as doses obtidas pela curva de incubação, em experimentos preliminares realizados em laboratório.

Também aplicou-se uma adubação básica de plantio no primeiro e no segundo cultivo. Neste último, a calagem não foi repetida. Adubações de cobertura com N e K também foram realizadas em ambos os cultivos.

Os detalhes das doses de calcário aplicadas em cada solo, dos nutrientes aplicados na adubação básica de plantio e em cobertura nos dois cultivos, das fontes de calcário e dos nutrientes, do período de incubação dos tratamentos, estão descritos no Capítulo I.

Semearam-se oito sementes do feijoeiro por vaso, desbastando-se para duas plântulas. Destas, uma foi colhida na época do florescimento (estádio R6) e a outra na maturação dos grãos (estádio R9). A umidade do solo foi mantida a 70 % do Volume Total de Poros (VTP).

Nos dois cultivos, a parte aérea das plantas colhidas foi separada em hastes + ramos, folhas e grãos (estádio R9), seca em estufa a 65-70°C e pesada, cujos resultados foram apresentados no Capítulo I.

Após a moagem, os teores dos nutrientes no material vegetal de cada parte foram analisados quimicamente como se segue: N pelo método Kjeldahl; P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn através da digestão nítrico-perclórica e determinados no extrato: P - colorimetria; K - fotometria de chama; S - turbidimetria; Ca, Mg, Cu, Mn e Zn - espectrofotometria de absorção atômica e o B por incineração e determinação colorimétrica pelo método da curcumina (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1989).

A quantidade dos nutrientes acumulada na parte aérea do feijoeiro, foi calculada com base no teor dos mesmos no tecido e na produção de matéria seca de cada parte, e a

quantidade total acumulada pela soma da acumulação nos dois cultivos. Avaliou-se, também, a exportação de nutrientes pelos grãos.

Os parâmetros avaliados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%, de acordo com Gomes (1985). Utilizou-se para as análises o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas - SAEG.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a avaliação e discussão da capacidade dos solos estudados em suprir os nutrientes ao feijoeiro, foram utilizados os teores dos mesmos determinados nas folhas das plantas coletadas na época do florescimento e as suas acumulações na matéria seca da parte aérea e de grãos no final do ciclo, nos tratamentos nos quais foram omitidos (-M), comparativamente aos valores obtidos no tratamento Completo 1 (C1). Os teores foliares também serão comparados com aqueles tidos como adequados para a cultura, citados na literatura, embora, como se sabe, os teores variam com as condições e época de cultivo, variedades ou cultivares, órgão analisado, idade do órgão e da planta, dentre outros (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1989).

5.3.1 Teores dos nutrientes nas folhas na época do florescimento

Nos Quadros 1, 2, 3 e 4, encontram-se os teores dos macro e micronutrientes nas folhas das plantas coletadas no florescimento, no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e a produção relativa (PR%) de matéria seca da parte aérea do

tratamento de omissão em comparação ao C1, no primeiro e segundo cultivos, nos solos HGP, HO, HGH e A, respectivamente.

Observa-se que de maneira bastante variada entre os nutrientes e os solos, houve uma tendência dos teores dos nutrientes serem maiores no tratamento C1 em relação aos tratamentos onde foram omitidos (-M), nos dois cultivos, embora, nem sempre significativamente.

Como referência, serão utilizados as faixas dos macro e micronutrientes em todas as folhas do feijoeiro na época do florescimento, tidos como adequados por Rajj et al. (1996): N - 30-50; P - 2,5-4,0; K - 20-24; Ca - 10-25; Mg - 2,5-5,0; S - 2,0-3,0 g/kg e B - 15-26, Cu - 4-20; Mn - 15-100; Zn - 18-50 mg/kg.

Comparando-se os teores dos nutrientes dos Quadros 1 a 4 com os acima citados, observa-se que tanto para o C1 quanto para o -M, de maneira geral, os teores estão no limite inferior ou abaixo da faixa tida como adequada por Rajj et al. (1996), com algumas exceções, dentre elas o Mn, principalmente no -M.

Esta observação é importante pois, possivelmente, esta seja a explicação para muitos casos onde os teores dos nutrientes no C1 e no -M foram semelhantes ou, em algumas vezes, até maior no -M, e a correspondente produção relativa (PR%) muito diferente entre os dois tratamentos, ou seja, bem menor no -M.

De acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1989), a diagnose foliar baseia-se, dentro de limites, em relações diretas entre a fertilidade do solo ou dose do adubo, teor foliar e produção. Mas de acordo com estes autores, a relação entre teor foliar e a produção é bastante complicada, podendo ocorrer uma série de situações, ou seja, a relação nem sempre é direta. Dentre as diversas situações, uma delas é denominada de curva em "C" ou "efeito Steenbjerg", que

*mesmo
no C1
nutrientes*

QUADRO 1 - Teores de macro (g/kg) e de micronutrientes (mg/kg) nas folhas na época do florescimento (R6), no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) de matéria seca da parte aérea do tratamento de omissão em comparação ao C1, no primeiro e no segundo cultivos do feijoeiro no solo Glei Pouco Húmico (HGP).

Nutriente	Primeiro Cultivo			Segundo Cultivo		
	C1	- M	PR (%) ¹	C1	- M	PR (%) ¹
N	32,9 a	29,1 a	53	22,1 a	15,4 a	37
P	2,4 b	3,5 a	17	1,43 a	1,53 a	23
K	21,9 a	13,1 b	95	16,9 a	12,8 a	54
Ca	20,6 a	13,4 b	78	21,9 a	13,6 b	52
Mg	6,9 a	2,9 b	114	5,8 a	1,5 b	78
S	2,1 a	2,2 a	80	10,2 a	10,9 a	56
B	35,46 a	36,03 a	21	38,61 a	51,29 a	14
Cu	4,57 b	6,69 a	122	5,64 a	3,59 b	99
Mn ²	39,86 b	581,47 a	77	38,88 b	568,99 a	56
Zn	35,80 a	29,21 a	49	23,97 a	18,61 a	48

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada cultivo, não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR (%) = $MSPA (-M)/MSPA (C1) \times 100$.

²Para o Mn, os teores no -M referem-se ao tratamento C1 - Cal.

QUADRO 2 - Teores de macro (g/kg) e de micronutrientes (mg/kg) nas folhas na época do florescimento (R6), no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) de matéria seca da parte aérea do tratamento de omissão em comparação ao C1, no primeiro e no segundo cultivos do feijoeiro no solo Orgânico (HO).

Nutriente	Primeiro Cultivo			Segundo Cultivo		
	C1	- M	PR (%) ¹	C1	- M	PR (%) ¹
N	47,30 a	25,9 b	138	22,3 a	19,1 a	63
P	3,0 a	1,9 b	16	1,3 a	1,4 a	23
K	42,1 a	12,1 b	111	14,4 a	7,8 b	32
Ca	37,9 a	11,6 b	62	18,2 a	6,9 b	56
Mg	15,8 a	2,6 b	54	6,1 a	2,1b	63
S	2,2 a	2,5 a	136	10,2 a	10,7 a	39
B	31,71 a	29,33 a	19	38,49 a	78,79 a	7
Cu	5,13 a	3,38 b	115	4,74 a	5,63 a	76
Mn ²	135,00 b	327,87 a	34	69,93 b	245,36 a	43
Zn	59,03 a	17,30 b	119	31,80 a	24,82 a	85

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada cultivo, não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR (%) = $MSPA (-M)/MSPA (C1) \times 100$.

²Para o Mn, os teores no -M referem-se ao tratamento C1 - Cal.

QUADRO 3 - Teores de macro (g/kg) e de micronutrientes (mg/kg) nas folhas na época do florescimento (R6), no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) de matéria seca da parte aérea do tratamento de omissão em comparação ao C1, no primeiro e segundo cultivos do feijoeiro no solo Glei Húmico (HGH).

Nutriente	Primeiro Cultivo			Segundo Cultivo		
	C1	- M	PR (%) ¹	C1	- M	PR (%) ¹
N	41,40 a	42,70 a	53	28,50 a	23,50 b	66
P	2,30 a	2,20 a	9	1,30 a	1,32 a	9
K	40,8 a	15,6 b	48	20,7 a	6,3 b	38
Ca	56,50 a	11,80 b	57	21,70 a	5,40 b	38
Mg	9,70 a	1,80 b	64	8,30 a	1,20 b	28
S	3,00 a	2,40 b	55	9,50 b	10,90 a	41
B	31,26 b	36,24 a	12	49,27 b	173,97 a	10
Cu	3,50 a	2,60 b	68	6,27 a	2,49 b	66
Mn ²	52,88 b	251,23 a	26	49,73 b	125,68 a	125
Zn	33,10 a	20,27 a	48	41,12 a	26,70 a	53

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada cultivo, não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR (%) = $MSPA (-M)/MSPA (C1) \times 100$.

²Para o Mn, os teores no -M referem-se ao tratamento C1 - Cal.

QUADRO 4 - Teores de macro (g/kg) e de micronutrientes (mg/kg) nas folhas na época do florescimento (R6) no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) de matéria seca da parte aérea do tratamento de omissão em comparação ao C1, no primeiro e segundo cultivos do feijoeiro no solo Aluvial (A).

Nutriente	Primeiro Cultivo			Segundo Cultivo		
	C1	- M	PR (%) ¹	C1	- M	PR (%) ¹
N	36,30 a	27,00 b	80	25,40 a	32,20 a	61
P	4,60 a	3,00 b	16	1,55 a	1,63 a	31
K	32,20 a	10,30 b	58	16,10 a	6,55 a	48
Ca	24,20 a	17,80 b	61	15,30 a	15,90 a	65
Mg	7,00 a	7,20 a	68	4,10 a	2,00 b	89
S	1,90 a	2,20 a	85	12,10 a	12,50 a	85
B	37,08 a	20,23 b	20	80,98 b	136,78 a	19
Cu	9,61 a	7,77 b	92	7,74 a	5,89 a	102
Mn ²	106,98 b	706,11 a	99	82,86 b	600,00 a	53
Zn	60,86 a	35,48 a	112	32,88 a	27,16 a	94

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada cultivo, não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR (%) = $MSPA (-M)/MSPA (C1) \times 100$.

²Para o Mn, os teores no -M referem-se ao tratamento C1 - Cal.

ocorre em casos onde o nutriente está muito deficiente no solo e, sua aplicação na adubação, promove uma resposta muito grande da planta em crescimento, proporcionalmente maior à própria absorção do elemento, não permitindo o aumento de sua concentração no tecido. Neste caso, há uma pequena variação no teor foliar devido ao grande acúmulo de massa seca; podendo ocorrer, inclusive, diluição do nutriente na matéria seca da planta (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1989).

Exemplos claros desta situação podem ser observados e discutidos para o B e o P no presente trabalho. Estes dois nutrientes foram aqueles que promoveram as menores produções relativas (PR%) em todos os solos (Quadro 1 a 4), ou seja, as suas omissões na adubação (-M) reduziram grandemente o crescimento da cultura, com teores foliares iguais ou até maiores que no C1. Isto quer dizer que no tratamento C1, a resposta em crescimento às aplicações de P e B foi tão grande, que não permitiu que houvesse aumento em suas concentrações nos tecidos; em alguns casos houve até diluição. Nestes casos, para que houvesse maior teor no C1, certamente, as doses dos nutrientes deveriam ser maiores do que aquelas aplicadas na adubação básica destes solos. Lembra-se que como já discutido no Capítulo I, os teores de P e B na análise química de todos os solos, encontram-se em valores bastante baixos (Quadro 1, Capítulo I).

Para outros nutrientes, tal como K, N e S, em muitas situações, ocorreram fatos semelhantes ao P e B. Em outros casos, a menor produção relativa (PR%) do -M, foi acompanhada por teores foliares também significativamente menores do que no C1. Isto pode ser observado para o Ca e o Mg nos solos HGP, HOe HGH (Quadros 1, 2 e 3), onde seus teores foliares no -M, foram sempre inferiores ao C1 e com isso, a PR% correspondente também. Este comportamento confirma que os teores de Ca e Mg mostrados na análise química destes solos (Quadro 1, Capítulo I) são deficientes para a correta nutrição do feijoeiro e que as doses dos

mesmos aplicados com a calagem (C1), permitiram aumentos proporcionais na produção de matéria seca e nos seus teores foliares, ou seja, uma relação direta entre os teores foliares e a produção. No solo A, este comportamento não foi bem definido, mas com redução da produção relativa-PR% (Quadro 4). Lembra-se que como mostrado no Quadro 1 do Capítulo I, os teores de Ca e Mg neste solo encontram-se em valores médio/alto.

À exceção do solo A, os teores foliares de Ca e Mg no -M, apresentaram-se abaixo dos níveis críticos apresentados por Raij et al. (1996), com uma correspondente baixa produção relativa (PR%). Estes resultados confirmam a pobreza dos solos HGP, HO e HGH nestes nutrientes, e a necessidade de calagem em todos os solos, não só para corrigir o pH, mas também, para fornecer Ca e Mg como nutrientes à cultura.

Interessante observar para o Cu e para o Zn, à exceção do solo A, embora de maneira bastante variada entre os demais solos e os cultivos, as suas omissões da adubação (-M), em grande parte dos casos, reduziram a produção de matéria seca da parte aérea do feijoeiro na época do florescimento (PR%, Quadros 1, 2 e 3). Mas este efeito não foi transferido na mesma intensidade para a produção de grãos, visto que estes tratamentos não promoveram nenhum efeito significativo no rendimento da cultura em grãos, como discutido no Capítulo I. Considerando que na maioria dos casos, os teores foliares de Cu e Zn no tratamento -M desses solos (Quadros 1, 2 e 3), mantiveram-se próximos ao limite inferior da faixa adequada citada por Raij et al. (1996); que de acordo com estes autores, na análise química dos solos, os seus teores apresentaram-se baixos (Quadro 1, Capítulo 1) e que embora não significativamente, as suas omissões na adubação reduziram a produção de grãos (Quadro 2, 3, 4 e 5, Capítulo I), conclui-se que sob condições de cultivos intensivos, estes micronutrientes poderão a curto-médio prazo tornarem-se limitantes ao cultivo do feijoeiro nestes solos.

Os teores de Mn no tratamento -M, como destacado no rodapé dos Quadros 1 a 4, referem-se aos teores determinados nas folhas das plantas do tratamento onde não se aplicou calcário (C1-Cal). Observa-se para todos os solos e cultivos, que os teores de Mn no -M foram bastante elevados e bem acima da faixa crítica estabelecida por Raij et al. (1996). Este fato justifica os sintomas de toxidez de Mn observados nas plantas dos tratamentos C1-Cal, o que, juntamente com os outros efeitos do pH ácido e da deficiência de Ca e Mg, contribuiu para redução do crescimento (PR%, Quadros 1 a 4) e da produção de grãos deste tratamento, como já apresentado e discutido (Quadros 2 a 5, Capítulo I).

5.3.2 Acúmulo de nutrientes na matéria seca da parte aérea e de grãos no final do ciclo

Como destacado anteriormente, a real capacidade de um solo fornecer determinado nutriente às plantas, pode ser avaliada através da determinação da absorção e acumulação do mesmo em cultivos sucessivos, sob condições de disponibilidade adequada dos demais; metodologia usada neste trabalho. Os Quadros 5, 6, 7 e 8 mostram o total dos nutrientes acumulados nos dois cultivos na matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de grãos (MSGR) no final do ciclo, para os solos HGP, HO, HGH e A, respectivamente. Os valores de acumulação foram calculados para o tratamento Completo 1 (C1) e para os respectivos tratamentos de omissão (-M).

Como a acumulação de um nutriente é dependente do teor deste no tecido e, principalmente, da produção de matéria seca, a acumulação total dos nutrientes na MSPA e na MSGR (Quadros 5 a 8), seguiu para todos os solos, a mesma tendência da produção de matéria

QUADRO 5 - Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) da MSPA e MSGR do tratamento de omissão em comparação ao C1, e percentagem de nutrientes exportados pelos grãos (EXP%) no tratamento C1, do feijoeiro cultivado no solo Glei Pouco Húmico (HGP).

Nutriente	MSPA			MSGR			
	C1	- M	PR (%) ¹	C1	- M	PR (%) ¹	EXP.(%) ³
N	246,30 a	105,20 b	48	709,30 a	301,10 b	45	74
P	48,00 a	7,00 b	45	99,20 a	31,00 b	40	67
K	209,66 a	43,85 b	70	66,43 a	31,75 b	50	24
Ca	284,00 a	100,00 b	64	56,20 a	24,70 b	67	16
Mg	180,70 a	18,50 b	75	42,50 a	22,60 b	65	19
S	34,60 a	10,10 b	69	49,80 a	22,00 b	51	59
B	511,10 a	145,80 b	41	352,70 a	00,00 b	00	41
Cu	124,00 b	247,60 a	96	173,40 a	144,80 a	106	58
Zn	449,20 a	131,80 b	74	821,10 a	475,70 b	88	65
Mn ²	661,46 b	5373,40 a	59	335,00 b	723,50 a	60	26

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada parte da planta, não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR (%) = MSPA ou MSGR total (-M)/MSPA ou MSGR total (C1) \times 100.

²Para o Mn, a acumulação no -M refere-se ao tratamento C1 - Cal.

³EXP.(%) = Acúmulo do nutriente na MSGR (C1)/Acúmulo na MSPA (C1) + Acúmulo na MSGR (C1) \times 100.

QUADRO 6 - Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) da MSPA e MSGR do tratamento de omissão em comparação ao C1, e percentagem de nutrientes exportados pelos grãos (EXP%) no tratamento C1, do feijoeiro cultivado no solo Orgânico (HO).

Nutriente	MSPA			MSGR			
	C1	- M	PR (%) ¹	C1	- M	PR (%) ¹	EXP.(%) ³
N	175,4 a	204,2 a	107	827,4 a	792,7 a	90	80
P	46,6 a	7,1 b	46	143,2 a	29,9 b	34	75
K	64,51 a	33,77 b	66	87,19 a	14,62 b	22	57
Ca	416,6 a	83,4 b	57	65,4 a	23,6 b	48	13
Mg	226,0 a	14,1 b	68	70,8 a	23,9 b	58	24
S	38,3 a	11,5 b	83	81,3 a	18,5 b	40	68
B	645,4 a	192,9 b	45	360,5 a	00,0 b	00	36
Cu	267,01 a	55,6 b	90	235,2 a	130,8 b	89	47
Zn	685,5 a	201,6 b	98	1239,2 a	699,2 b	86	64
Mn ²	1516,3 b	1775,8 a	61	523,4 a	349,1 b	34	26

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada parte da planta, não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR (%) = MSPA ou MSGR total (-M)/MSPA ou MSGR total (C1) \times 100.

²Para o Mn, a acumulação no -M refere-se ao tratamento C1 - Cal.

³EXP.(%) = Acúmulo do nutriente na MSGR (C1)/Acúmulo na MSPA (C1) + Acúmulo na MSGR (C1) \times 100.

QUADRO 7 - Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) da MSPA e MSGR do tratamento de omissão em comparação ao C1, e percentagem de nutrientes exportados pelos grãos (EXP%) no tratamento C1, do feijoeiro cultivado no solo Glei Húmico (HGH).

Nutriente	MSPA			MSGR			
	C1	- M	PR (%) ¹	C1	- M	PR (%) ¹	EXP.(%) ³
N	154,7 a	242,9 a	90	720,2 a	503,0 b	78	82
P	26,5 a	1,5 b	14	120,4 a	6,4 b	10	82
K	135,83 a	13,36 b	64	53,17 a	17,99 b	33	28
Ca	642,4 a	151,0 b	63	68,1 a	33,2 b	51	10
Mg	138,2 a	75,3 b	81	43,1 a	18,5 b	55	24
S	30,3 a	11,3 b	74	37,2 a	15,2 b	63	55
B	529,7 a	79,0 b	30	252,6 a	00,0 b	00	32
Cu	54,4 a	57,5 a	125	124,3 a	55,8 b	97	69
Zn	498,8 a	189,4 b	98	843,3 a	527,8 b	96	63
Mn ²	550,7 b	1832,1 a	88	283,1 a	306,0 a	58	34

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada parte da planta, não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR (%) = MSPA ou MSGR total (-M)/MSPA ou MSGR total (C1) \times 100.

²Para o Mn, a acumulação no -M refere-se ao tratamento C1 - Cal.

³EXP.(%) = Acúmulo do nutriente na MSGR (C1)/Acúmulo na MSPA (C1) + Acúmulo na MSGR (C1) \times 100.

QUADRO 8 - Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, no tratamento Completo 1 (C1) e nos respectivos tratamentos de omissão (-M), e produção relativa (PR%) da MSPA e MSGR do tratamento de omissão em comparação ao C1, e percentagem de nutrientes exportados pelos grãos (EXP%) no tratamento C1, do feijoeiro cultivado no solo Aluvial (A).

Nutriente	MSPA			MSGR			
	C1	- M	PR (%) ¹	C1	- M	PR (%) ¹	¹ EXP (%) ³
N	159,8 a	112,2 a	57	527,30 a	423,8 a	70	77
P	30,7 a	8,1 b	51	81,0 a	28,9 b	49	72
K	147,17 a	27,26 b	70	64,51 a	17,64 b	28	30
Ca	685,5 a	532,3 b	92	44,2 a	32,8 a	74	6
Mg	110,9 a	52,8 b	80	44,4 a	39,3 a	92	28
S	36,6 a	15,5 b	84	41,7 a	28,7 a	93	53
B	626,7 a	268,4 b	82	297,9 a	00,0 b	00	32
Cu	116,1 a	99,2 a	96	229,1 a	182,2 b	90	66
Zn	476,9 a	400,3 a	89	650,3 a	620,8 a	99	58
Mn ²	1672,2 b	2547,0 a	74	412,3 b	717,1 a	81	20

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada parte da planta, não diferem entre si (Tukey 5%).

¹PR (%) = MSPA ou MSGR total (-M)/MSPA ou MSGR total (C1) \times 100.

²Para o Mn, a acumulação no -M refere-se ao tratamento C1 - Cal.

³EXP.(%) = Acúmulo do nutriente na MSGR (C1)/Acúmulo na MSPA (C1) + Acúmulo na MSGR (C1) \times 100.

seca mostrada no Capítulo I, nos Quadros de 2 a 5. O Mn, não seguiu esta regra, visto o seu grande teor observado no tratamento C1-Cal, mostrado nos Quadros 1 a 4.

Assim, observa-se que o acúmulo total dos nutrientes na MSPA e na MSGR foi sempre superior no tratamento C1 em relação ao -M, à exceção do Cu no HGP, N no HO, N e Cu no HGH, todos na MSPA e do Mn em todos os solos na MSPA e MSGR.

Para todos os solos, verifica-se uma baixa acumulação de B, P, K, S, N, Ca e Mg nos tratamentos onde foram omitidos (-M), tanto na MSPA quanto na MSGR. Portanto, apresentaram-se como fatores limitantes à nutrição do feijoeiro, o que se refletiu na grande maioria dos casos, na redução da produção relativa (PR%) das plantas (Quadros 5 a 8). O B e o P e em alguns casos o K, foram aqueles que mais drasticamente limitaram o crescimento e a produção da cultura. Ressalta-se que no período experimental, observaram-se sintomas característicos de deficiência destes nutrientes nas plantas. Destaca-se o caso do Boro, como já mostrado e discutido no Capítulo I, onde a sua limitação foi tão drástica que nem permitiu a formação de grãos.

O grande acúmulo de Mn no -M e os sintomas de toxidez observados nas plantas, é justificado pela sua alta disponibilidade nos solos devido ao pH ácido, visto que sua avaliação foi efetuada no tratamento onde se omitiu a calagem (C1-Cal). Este resultado reforça a necessidade de calagem nestes solos para o cultivo do feijoeiro não só para o fornecimento de Ca e Mg, como visto, limitantes nestes solos, mas também, para a elevação do pH visando a redução da concentração tóxica de Al e Mn, comuns em solos de várzeas (Fageria, Oliveira e Dutra, 1996). Quaggio et al. (1985) observaram que a aplicação de calcário em solos de várzea do Vale do Ribeira-SP, aumentou a disponibilidade de Ca, Mg, P e Mo e reduziu a toxicidade do Mn e com isto, aumentou a produção do feijoeiro.

Para Cu e o Zn, de maneira geral, suas acumulações no tratamento C1 foram maiores do que onde foram omitidos (-M). Isto foi devido as suas aplicações na adubação básica no C1, o que promoveu aumento nas suas absorções e acumulações. Mas, este fato, não se refletiu em aumentos significativos na produção.

Interessante observar para todos os solos estudados (Quadros 5 a 8) que o Ca foi grandemente acumulado na MSPA, em valores inclusive superiores ao do N; ocorrendo o contrário na MSGR, onde foi acumulado grande quantidade de N e pouco de Ca. Este fato pode ser explicado pela grande mobilidade do N dentro da planta (Faquin, 1994), onde o mesmo na época da frutificação, migra das partes vegetativas para as produtivas da planta, principalmente no caso do feijoeiro, cujos grãos apresentam teores elevados (22 a 26%) de proteína (Lajolo, Genovese e Menezes, 1996). No caso do Ca, devido sua imobilidade na planta (Faquin, 1994), o mesmo tende acumular-se na MSPA migrando muito pouco para os grãos.

Esta mobilidade ou não dos nutrientes na planta é que, dentro de limites, explica a variação que existe entre eles em termos de exportação pela produção, cujos valores percentuais do total acumulado são apresentados para cada solo nos Quadros 5, 6, 7 e 8. Destacam-se o N como o mais e o Ca como o menos exportados. Chama a atenção a exportação do S que em média, atinge a valores de 60% do acumulado. De acordo com Faquin (1994), o S é considerado pouco móvel na planta. Mas, lembra-se que tal como N, o S fazendo parte dos aminoácidos cistina e metionina, compõe as proteínas dos grãos do feijoeiro.

Pelo Quadro 9, quando se compara os solos através do acúmulo total dos nutrientes na MSPA e MSGR, nos tratamentos onde os nutrientes foram omitidos, observa-se que os mesmos apresentam uma capacidade bastante variada de suprimento de nutrientes, não sendo possível destacar alguns deles. No Capítulo I, ressaltou-se que o solo HO, foi aquele que

Muito interessante

QUADRO 9 - Acumulação total (soma dos dois cultivos) de macro (mg/vaso) e de micronutrientes ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e de grãos (MSGR) na época da maturação, nos tratamentos de suas omissões, do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A).

Nutriente	MSPA				MSGR			
	HGP	HO	HGH	A	HGP	HO	HGH	A
N	105,20 b	204,20 a	242,90 a	112,20 b	301,10 c	792,80 a	503,00 b	423,80 b
P	7,00 a	7,10 a	1,50 a	8,10 a	31,00 a	29,90 a	6,40 b	28,90 a
K	43,85 a	33,77 a	13,36 a	27,22 a	31,75 a	14,62 b	17,99 b	17,64 b
Ca	100,00 b	83,40 b	151,00 b	532,30 a	24,70 a	23,60 a	33,20 a	32,80 a
Mg	18,50 b	14,10 b	75,30 a	52,80 a	22,60 b	23,90 b	18,50 b	39,30 a
S	10,10 a	11,50 a	11,30 a	15,50 a	22,00 ab	18,50 b	15,20 b	28,70 a
B	145,80 bc	192,90 ab	79,00 c	268,50 a	00,00	0,00	0,00	0,00
Cu	247,60 a	55,60 b	57,60 b	99,20 b	144,80 b	130,80 b	55,80 b	182,20 a
Zn	131,80 b	201,60 ab	189,40 ab	400,30 a	475,70 b	699,20 a	527,80 b	620,80 ab
Mn ¹	5373,40 a	1775,80 c	1832,10 c	2547,00 b	723,50 a	349,10 b	309,00 b	717,10 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada parte da planta, não diferem entre si (Tukey 5%).

¹Para o Mn, a acumulação refere-se ao tratamento C1- Cal.

menores limitações apresentou ao crescimento e produção do feijoeiro, e que melhor potencial de produção apresentou quando corrigido e adubado (tratamento Completo 1). Possivelmente, isto foi devido a outros fatores não nutricionais, que favoreceram a produção da cultura, como fatores físicos do solo, por exemplo (Quadro 1, Capítulo 1).

A ordem decrescente de exportação (%) de macronutrientes pelos grãos do feijoeiro para os solos estudados em relação ao total absorvido foram: HGP, HO e A- $N > P > S > K > Mg > Ca$ e HGH- $N = P > S > K > Mg > Ca$. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Gallo e Miyasaka (1961), Haag et al. (1967) e Cobra Neto, Accorsi e Malavolta (1971), que obtiveram a seguinte ordem de exportação (%) em relação ao total absorvido $P > N > S > K > Mg > Ca$. Para os micronutrientes: HGP e HO- $Zn > Cu > B > Mn$; HGH- $Cu > Zn > Mn > B$ e A- $Cu > Zn > B > Mn$.

5.4 CONCLUSÕES

- 1 - Os solos de várzea estudados não supriram as exigências nutricionais do feijoeiro em B e nos macronutrientes.
- 2 - Nos dois cultivos realizados, os solos supriram as exigências da cultura em Cu e Zn, embora, a curto-médio prazo, sob condições de cultivo intensivo, podem tornar-se limitantes.
- 3 - As limitações mais drásticas foram para o B, P e K, cujos sintomas visuais de deficiência foram claramente observados nas plantas.
- 4 - A calagem é essencial para o cultivo do feijoeiro nestes solos para fornecimento de Ca e Mg e redução da toxicidade de Mn e Al.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COBRA NETO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. var. Roxinho). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.28, p.257-274, 1971.
- EL-HUSNY, J.C. **Limitações nutricionais para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solo do Norte de Minas Gerais**. Lavras: ESAL, 1992. 151p. (Dissertação- Mestrado em Fitotecnia).
- FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P. de; DUTRA, L.G. **Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP-APA, 1996. 40p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 65).
- FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B. Rice and common bean growth and nutrient uptake as influenced by aluminum on an acid lowland soil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SOIL-PLANT INTERACTION AT LOW pH, 4, Belo Horizonte, 1996. **Proceeding...**, Dordrecht: Kluwer, 1996. (No prelo).
- FAGERIA, N.K.; SOUZA, N.P. de. Respostas das culturas de arroz e feijão em sucessão à adubação em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.3, p.359-368, mar. 1995.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras:ESAL / FAEPE,1994. 227p.
- GALLO, J.R.; MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos, do florescimento à maturação. **Bragantia**, Campinas, v.20, n.40, p.867-884, set. 1961.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1985. 466p.
- GUEDES, G.A.A. de; JUNQUEIRA NETTO, A. Calagem e adubação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.4, n.46, p.21-23, out. 1978.
- HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.26, n.30,p.380-391, set. 1967
- LAJOLO, F.M.; GENOVESE, M.I.;MENEZES, E.W. de. Qualidade nutricional. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (coords.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p.23-56.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.S. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicação**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201p.

- MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Glei Pouco Húmico sob inundação e após drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.27, n.2, p.223-235, fev. 1992.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; BATAGLIA, O.C. Calagem para rotação feijão-milho verde em solo orgânico do vale do Rio Ribeira de Iaguape (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9,n.3, p.249-254, set./dez. 1985.
- RAIJ J.B. van.; CANTARELLA, H.;QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 258p. (Boletim Técnico, 100).
- ROSOLEM, C.A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**.Piracicaba: POTAFOS, 1987. 93p.
- ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.68, p.1-15, dez 1994. (Encarte - POTAFOS, Arquivo do Agrônomo, 7).
- VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A. **Fertilidade do solo**: dinâmica e disponibilidade dos nutrientes de plantas. Lavras:ESAL/FAEPE, 1993. 171p.

6 CAPÍTULO III

EFEITO DO CALCÁRIO NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS.

RESUMO

Com o objetivo de se estudar o efeito do calcário no crescimento e na produção do feijoeiro (cv. Carioca-MG) cultivado em amostras de solos de várzea do Sul de Minas Gerais, conduziu-se um experimento, que constou de dois cultivos sucessivos em vasos de três dm³, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, durante o período de agosto de 1995 a junho de 1996. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial de 6 × 4, sendo seis níveis de saturação por bases (V%): saturação natural, 40, 60, 80, 100, 120% e quatro solos: Glei Pouco Húmico, Orgânico, Glei Húmico e Aluvial, com quatro repetições. Os resultados obtidos mostraram que a calagem é uma prática essencial para a obtenção de altas produtividades do feijoeiro. Os níveis de saturação por bases e de pH nestes solos, ideais para o feijoeiro, variaram de 44 a 52% e de 5,1 a 5,3, respectivamente, e que as doses de calcário recomendadas pela fórmula do método da saturação por bases visando elevar V₂ a 70%, aproximaram-se daqueles necessários para elevar o V e o pH aos níveis ideais citados; o método do Al e Ca + Mg subestimou estas doses.

EFFECT OF LIMESTONE UPON GROWTH AND YIELD OF BEAN PLANT CULTIVATED ON LOWLAND SOILS FROM THE SOUTH OF MINAS GERAIS

ABSTRACT

With the purpose of studying the effect of limestone upon the growth and yield of the bean plant (cv. Carioca-MG) cultivated on lowland soils from the South of Minas Gerais-Brazil, an experiment was conducted, which consisted of two successive croppings in 3dm³ pots, in greenhouse at the Department of Soil Science of the Universidade Federal de Lavras-MG, over the period of August/1995 to June/1996. It was utilized a completely randomized design, in a 6 × 4 factorial scheme, being 6 levels of base saturation (V%): natural saturation, 40, 60, 80, 100 and 120% and four soils: Low Humic Gley, Humic Gley, Bog soil and Aluvial soil, with four replications. The obtained results showed that the levels of base saturation and pH in these soils, suitable to the bean plant, ranged from 44 to 52% and from 5.1 to 5.3, respectively and the doses of limestone recommended by the formula of the base saturation method, aiming to raise V₂ to 70%, approached those necessary to increase both V and pH to the suitable levels already cited; the Al and Ca + Mg method underestimated those doses.

6.1 INTRODUÇÃO

O cultivo do feijoeiro em solos de várzea vem sendo estudado, com o objetivo de gerar tecnologias específicas para estes solos, o que poderá aumentar a produção de alimentos básicos em até seis vezes, em comparação com índices atuais obtidos em áreas de cultivo tradicional (Silva, 1988). Estima-se no Brasil cerca de 30 milhões de hectares de várzeas que

poderiam ser incorporadas ao processo produtivo. O Estado de Minas Gerais possui 1.500.000 ha de várzeas potencialmente irrigáveis do ponto de vista edáfico (Santos e Silveira, 1996), e o sul do estado, mais especificamente, cerca de 190.137 ha (Minas Gerais, 1975).

De maneira geral, os solos de várzeas além de pouco férteis, são extremamente ácidos, com problemas de toxicidade de Al^{3+} , e em certos casos, de Mn^{2+} (Fageria, Oliveira e Dutra, 1996). Como a acidez do solo afeta o desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro, prejudicando a absorção de água e de nutrientes do solo e, conseqüentemente, a produtividade, a calagem torna-se uma das práticas mais importantes para aumentar a produção agrícola nesses solos. A aplicação de calcário promove várias transformações químicas no solo dentre elas o fornecimento Ca e Mg como nutrientes, elevação do pH do solo e com isso, neutralização do Al e Mn tóxicos, aumento da disponibilidade de alguns nutrientes como o P e o Mo e da atividade microbiana (Rosolem, 1996, Fageria, Oliveira e Dutra, 1996).

Resultados obtidos por diferentes autores levam à conclusão de que se obtém a máxima produtividade de feijão quando o pH em água do solo encontra-se entre 6,0 e 7,0 (Rosolem, 1987; Moraes, 1988). Sendo o feijoeiro sensível à toxicidade de Al e Mn, nas regiões do país onde os solos são mais ricos em Mn, este tem sido um problema mais sério que o próprio Al. Vieira (1976), demonstrou que pH em água da ordem de 5,5 eliminou-se a toxicidade de Al mas não a de Mn; a pH 6,0, houve redução da disponibilidade e da toxicidade de Mn e aumento na produtividade do feijoeiro.

Tem sido largamente utilizado, também, a recomendação de calagem através do método que leva em consideração a saturação por bases do solo. No caso do feijoeiro, as doses de calcário recomendadas por este método visam elevar a saturação por bases a 70% (Comissão...,

1989; Raij et al., 1996), o que tem sido confirmado ser o valor ideal para a cultura (Bittencourt, Gomes e Zembello Junior, 1976; Garcia, 1990).

Estes valores de pH e de saturação por bases recomendadas para o feijoeiro, tem sido confirmados por pesquisas realizadas em solos minerais. Para os solos de várzeas, principalmente aqueles ricos em matéria orgânica, que possuem características físicas e químicas próprias, bem diferentes dos minerais, a recomendação de calagem tem sido baseada em dados obtidos nos solos minerais com resultados nem sempre satisfatórios. Estas recomendações podem sub ou superestimar a dose a ser aplicada, dependendo das características do solo, como observado para a sucessão soja-trigo em solo Glei Pouco Húmico (Miranda, 1993), feijão-milho ^{em solo} ~~Dose~~ em solo Orgânico (Quaggio et al., 1985) e abobrinha em solo Orgânico (Quaggio et al., 1987).

Os solos orgânicos, devido aos elevados teores de matéria orgânica e poder tampão, exigem doses muito elevadas de calcário para correção da acidez, quando comparados com os minerais. Entretanto, de acordo com McLean e Brown (1984), nesses solos não há necessidade de se fazer calagem nos níveis estabelecidos para os minerais, visto que os efeitos tóxicos do Al, Mn e Fe são reduzidos pelo efeito complexante dos compostos orgânicos; desta maneira, evita-se também, desequilíbrios nutricionais com o K e com os micronutrientes (Lucas e Davis, 1961).

De acordo com Miranda (1993) há necessidade de maiores estudos sobre os métodos de recomendação e sobre efeito da calagem no rendimento das culturas em solos de várzea. Assim, este trabalho teve como objetivos estudar o efeito do calcário em amostras de quatro solos de várzea na produção do feijoeiro, e obter informações que possam contribuir para a correta recomendação de calcário para a cultura nesses solos.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, que constou de dois cultivos sucessivos em vasos de três dm³, foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (DCS-UFLA), durante o período de agosto de 1995 a junho de 1996. A cultivar de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizada foi a Carioca-MG, que é recomendada para a região (Andrade, Abreu e Ramalho, 1992).

Utilizaram-se amostras da camada superficial (0-20 cm) de quatro solos de várzea (não sistematizada) de Lavras-MG, pertencentes à classes Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), artificialmente drenado, Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A). Após a secagem, peneiramento em malha de cinco mm, subamostras de cada solo foram tomadas e analisadas física e quimicamente, cujos resultados foram apresentados no Quadro 1 do Capítulo I.

Neste experimento, tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 × 4, sendo seis níveis de saturação por bases (V%): saturação natural (Vnat.); 40 (V40); 60 (V60); 80 (V80); 100 (V100) e 120% (V120) e quatro solos de várzeas: HGP, HO, HGH e A, com quatro repetições.

Para a determinação das doses de calcário equivalentes aos V% estabelecidos nos tratamentos, foi desenvolvido um experimento preliminar com seis doses de calcário para cada solo, obtendo-se após 30 dias, as equações ou curvas de incubação. Através das equações de regressão calcularam-se as doses para o experimento definitivo, cujos valores são apresentados no Quadro 1.

Utilizou-se um calcário dolomítico comercial calcinado e micropulverizado, com PRNT = 100%, CaO = 35% e MgO = 14%.

QUADRO 1 - Doses de calcário aplicadas nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A), calculadas pelas equações das curvas de incubação, correspondentes às saturações por bases estabelecidas nos tratamentos.

V (%)	HGP			HO			HGH			A		
	g/vaso	t/ha	(t/ha) ¹									
V _{Nat}	0,00	0,00	(0,00)	0,00	0,00	(0,00)	0,00	0,00	(0,00)	0,00	0,00	(0,00)
V ₄₀	2,53	1,68	(1,80)	7,19	4,79	(5,64)	5,91	3,94	(3,20)	1,60	1,08	(0,15)
V ₆₀	11,10	7,40	(3,30)	14,27	9,51	(8,86)	16,51	11,00	(5,85)	7,40	4,93	(1,61)
V ₈₀	19,67	13,11	(4,80)	21,35	14,22	(12,08)	27,11	18,06	(8,51)	13,10	8,73	(3,07)
V ₁₀₀	28,25	18,82	(6,30)	28,43	18,94	(15,30)	37,71	25,13	(11,17)	18,90	12,59	(4,51)
V ₁₂₀	36,82	24,53	(7,80)	35,51	23,66	(18,52)	48,31	32,19	(13,83)	24,70	16,46	(5,99)

¹ Entre parêntese, as doses de calcário que seriam aplicadas com o uso da equação: $NC = \frac{T(V_2 - V_1)}{PRNT}$, para V₂ = 70% (Quaggio, 1986).

No primeiro cultivo, todos os tratamentos receberam uma adubação básica de plantio que correspondeu a 100 mg de N; 300 mg de P; 100 mg de K; 40 mg de S; 0,5 mg de B; 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn/dm³ de solo. Foram realizadas coberturas nitrogenadas e potássicas diferenciadas em função do crescimento das plantas, estimando-se as doses considerando os teores adequados dos nutrientes para a espécie e a possível produção de matéria seca.

No segundo cultivo, a adubação básica de plantio para todos os tratamentos correspondeu a 50 mg de N; 100 mg de P; 125 mg de K; 20 mg de S; 0,25 mg de B; 0,75 mg de Cu e 2,5 mg de Zn/dm³ de solo. Coberturas nitrogenadas também foram aplicadas da mesma forma descrita para o primeiro cultivo. No segundo cultivo não houve aplicação de calcário, objetivando-se com isso, o estudo do seu efeito residual.

As fontes dos nutrientes da adubação básica e das coberturas foram sais p.a.: NH₄NO₃, NH₄H₂PO₄, Ca(H₂PO₄)₂.H₂O, (NH₄)₂SO₄, KH₂PO₄, CaSO₄.2H₂O, KNO₃, H₃BO₃, CuCl₂ e ZnCl₂.

Foram utilizados vasos plásticos com capacidade para três dm³ de cada solo. Após a aplicação das doses de calcário referentes aos tratamentos, os solos dos vasos permaneceram em incubação com umidade equivalente a 70% do Volume Total de Poros (VTP) por um período de 30 dias. Após secos, aplicou-se a adubação básica e foram semeadas oito sementes de feijoeiro por vaso, desbastando-se para duas plântulas uma semana após a emergência. A umidade dos solos foi mantida a 70% do VTP. Ressalta-se que antes do plantio, após a calagem e adubação básica, os solos dos vasos foram amostrados para análises químicas.

Nos dois cultivos, das duas plantas conduzidas por vaso no período experimental, uma foi colhida na época do florescimento (estádio R6) e a outra no final do ciclo (estádio R9). A parte aérea das plantas foi separada em hastes + ramos, folhas e grãos (estádio R9), seca em

estufa a 65 - 70°C e pesada. Neste capítulo foi avaliado o efeito dos tratamentos nas características químicas dos solos e na produção de grãos pelo feijoeiro.

Entre o primeiro e o segundo cultivo, os solos dos vasos foram secos, revolvidos, nova adubação básica aplicada e amostrados para nova análise química, visando principalmente os estudos de regressão e correlações entre as características químicas dos solos alteradas pela calagem e a produção de grãos pelo feijoeiro no segundo cultivo.

Foram realizadas análises de variância para os dados de produção de matéria seca de grãos (MSGR) no primeiro (1^o), segundo (2^o) e total (1^o + 2^o) dos cultivos. Equações de regressão foram ajustadas para a produção de matéria seca de grãos (MSGR) em todos os solos no 1^o, 2^o e total dos cultivos em função das doses de calcário aplicadas; entre a produção relativa (PR%) de grãos no 1^o e 2^o cultivos e a saturação por bases observada (Vreal) em cada solo; e entre o pH e o Vreal nos dois cultivos para cada solo.

Correlações lineares simples foram estabelecidas entre a produção de matéria seca de grãos com as características químicas do solo (pH, Ca, Mg, Al, H + Al, S, t e m%), para o primeiro e segundo cultivos.

Para as análises estatísticas utilizou-se o programa de Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Características químicas dos solos

Nos Quadros 2 e 3 encontram-se os resultados das características químicas do solo original e após a aplicação dos tratamentos de calagem e da adubação básica nos quatro solos, antes do primeiro cultivo.

Originalmente, observa-se que os quatro solos estudados são de baixa fertilidade, cujas características químicas e físicas já foram discutidas no Capítulo I.

Como era de se esperar, o aumento das doses de calcário promoveu em todos os solos a elevação do pH, dos teores de Ca e Mg, da CTC efetiva (t) e da saturação por bases (V%) e uma redução nos teores de Al, Fe e Mn, nos valores de H+Al e da saturação por Al (m%). Portanto, a calagem e a adubação básica, promoveram alterações químicas bastante favoráveis ao desenvolvimento do feijoeiro nestes solos.

Importante destacar, que as alterações químicas provocadas pela calagem foram diferenciadas em função do tipo de solo. Embora as doses de calcário tenham sido calculadas pelas equações ou curvas de incubação para cada solo, determinadas em trabalho preliminar, observa-se que os valores atingidos nos tratamentos V100 e V120, foram sempre inferiores àqueles propostos nos tratamentos. No V120, as saturações por bases variaram em função do solo de um valor mínimo de 82% no A, a um valor máximo de 89% no HGH. Já, nos valores de saturação mais baixos, correspondentes aos tratamentos V40, V60 e V80, observa-se que as

QUADRO 2 - Características químicas das amostras dos solos Glei Pouco Húmico e Orgânico original e após a incubação com os tratamentos de calagem e aplicação da adubação básica, antes do primeiro cultivo.

Característica do solo	Glei Pouco Húmico							Orgânico						
	Original	Tratamentos						Original	Tratamentos					
		VNat	V40	V60	V80	V100	V120		VNat	V40	V60	V80	V100	V120
pH(H ₂ O)	4,6	4,5	4,7	5,5	6,0	6,4	6,7	4,7	4,1	4,4	5,1	5,4	5,6	5,9
P-Mehlich-1(mg/dm ³)	5	160	128	128	128	176	169	3	144	224	144	176	192	176
P-resina (mg/dm ³)	8	150	150	150	150	150	150	12	138	150	150	150	150	70
K (mg/dm ³)	64	156	145	142	137	150	145	45	137	142	145	142	144	144
Ca (mmolc/dm ³)	8	12	26	41	49	56	62	5	13	43	65	76	91	93
Mg (mmolc/dm ³)	2	6	4	21	21	20	18	2	3	20	42	55	60	63
Al (mmolc/dm ³)	10	6	2	1	0	0	0	20	18	5	1	1	0	0
H+Al (mmolc/dm ³)	63	70	50	26	19	17	15	153	166	110	70	45	36	29
S (mmolc/dm ³)	12	22	34	66	74	80	84	8	20	67	111	135	155	160
t (mmolc/dm ³)	22	28	36	67	74	80	84	28	38	72	112	136	155	160
T (mmolc/dm ³)	75	92	84	92	93	97	99	161	186	177	181	180	191	189
m (%)	46	21	6	2	0	0	0	71	48	7	1	1	0	0
V (%)	16	24	40	72	79	82	85	5	11	38	61	75	81	85
S-SO ₄ ⁻ (mg/dm ³)	13	47,2	57,7	62,7	54,5	64,5	66,3	5,8	54,5	62,7	48,6	62,7	69,9	57,7
B (mg/dm ³)	0,06	0,17	0,14	0,26	0,20	0,29	0,35	0,03	0,29	0,52	0,58	0,55	0,69	0,52
Cu (mg/dm ³)	0,72	1,3	1,1	1,3	1,4	1,7	1,2	0,17	1,2	1,6	2,1	1,4	1,1	1,5
Fe (mg/dm ³)	118	90,6	80,2	69,0	44,1	40,1	38,1	90,2	113,3	107,2	102,5	94,3	92,9	76,1
Mn (mg/dm ³)	6,9	6,1	5,6	3,8	4,2	3,9	3,6	3,27	3,0	3,1	3,1	3,0	2,9	2,3
Zn (mg/dm ³)	0,09	5,6	4,8	2,6	3,3	5,1	2,1	0,07	5,0	5,4	7,4	4,1	4,1	3,9

QUADRO 3 - Características químicas das amostras dos solos Glei Húmico e Aluvial original e após a incubação com os tratamentos de calagem e aplicação da adubação básica, antes do primeiro cultivo.

Característica do solo	Glei Húmico							Aluvial						
	Original	Tratamentos						Original	Tratamentos					
		VNat	V40	V60	V80	V100	V120		VNat	V40	V60	V80	V100	V120
pH(H ₂ O)	4,0	4,0	4,5	5,3	5,8	6,0	6,2	4,8	4,6	4,9	5,4	5,9	6,2	6,5
P-Mehlich-1(mg/dm ³)	4	128	176	160	160	160	128	5	80	80	80	64	96	80
P-resina (mg/dm ³)	9	150	150	150	111	150	138	9	150	138	150	150	150	150
K (mg/dm ³)	48	174	294	180	168	166	178	30	112	106	108	100	111	103
Ca (mmolc/dm ³)	7	16	46	77	99	100	108	17	25	28	48	52	59	64
Mg (mmolc/dm ³)	2	2	20	42	52	53	55	10	10	12	15	19	20	19
Al (mmolc/dm ³)	11	19	3	1	1	1	1	4	3	1	1	1	0	0
H+Al (mmolc/dm ³)	123	186	123	50	32	23	21	45	56	50	40	26	23	19
S (mmolc/dm ³)	10	22	74	124	155	157	168	28	38	43	66	74	82	86
t (mmolc/dm ³)	21	41	77	124	156	158	169	32	41	44	67	75	82	86
T (mmolc/dm ³)	133	208	197	174	187	180	189	73	94	93	106	100	105	105
m (%)	52	46	4	1	1	1	1	13	7	2	1	1	0	0
V (%)	16	11	37	71	83	87	89	38	40	46	62	74	78	82
S-SO ₄ ⁼ (mg/dm ³)	11,4	44,4	64,5	80,2	80,2	78,3	97,3	13,7	56,1	41,8	57,7	62,7	59,4	62,7
B (mg/dm ³)	0,03	0,58	0,58	0,52	0,52	0,45	0,55	0,03	0,17	0,14	0,23	0,20	0,20	0,23
Cu (mg/dm ³)	0,83	1,5	2,1	1,8	2,6	1,7	1,2	4,1	4,5	3,8	4,5	3,7	3,4	3,6
Fe (mg/dm ³)	112,6	268,7	237,8	191,6	165,8	148,5	102,3	299,0	227,5	207,1	176,9	110,5	97,3	98,2
Mn (mg/dm ³)	2,0	3,5	3,6	3,5	3,5	3,4	2,3	67,7	35,1	32,5	31,5	30,3	29,5	27,6
Zn (mg/dm ³)	0,09	8,2	8,8	6,4	9,3	5,4	4,1	1,08	5,9	4,4	7,0	3,8	1,9	3,9

variações entre estes valores propostos e aqueles obtidos (Quadros 2 e 3) foram bastante pequenas, aproximando-se muito daqueles estabelecidos nos tratamentos.

Interessante observar, também, que as características dos solos influenciadas pelas doses crescentes de calcário, como o pH, teores de Ca, Mg, Al, H+Al, CTC efetiva (t) e saturação por Al (m%), tiveram um comportamento bastante parecido com V%: as variações foram mais pronunciadas nas doses mais baixas de calcário (menores valores de V% estabelecidas nos tratamentos - V40, V60 e V80). Nos valores maiores de V% (V100 e V120) as variações nestas características foram proporcionalmente menores (Quadros 2 e 3).

É importante lembrar, que de acordo com a Comissão... (1989) e Raij et al. (1996), a saturação por bases ideal (V2) para o feijoeiro é de 70%, independente do tipo de solo.

Comparando-se as doses de calcário (t/ha) utilizadas neste experimento, que foram baseadas na curva de incubação, com aquelas que seriam aplicadas pela fórmula usual do método de saturação por bases, para elevar V2 a 70% (Quadro 1), observa-se que estas últimas, para os tratamentos que propõem saturações por bases iguais ou maiores que 60% (> V60), são bem menores. Certamente, é nisso que se baseia Rosolem (1987 e 1996), ao afirmar que quando a saturação por bases inicial (V1) for menor que 40%, é preciso que se faça o cálculo considerando a saturação por bases desejada (V2) de 85%, pois o uso de 70% levaria, na prática, a obtenção de um valor menor que o desejado.

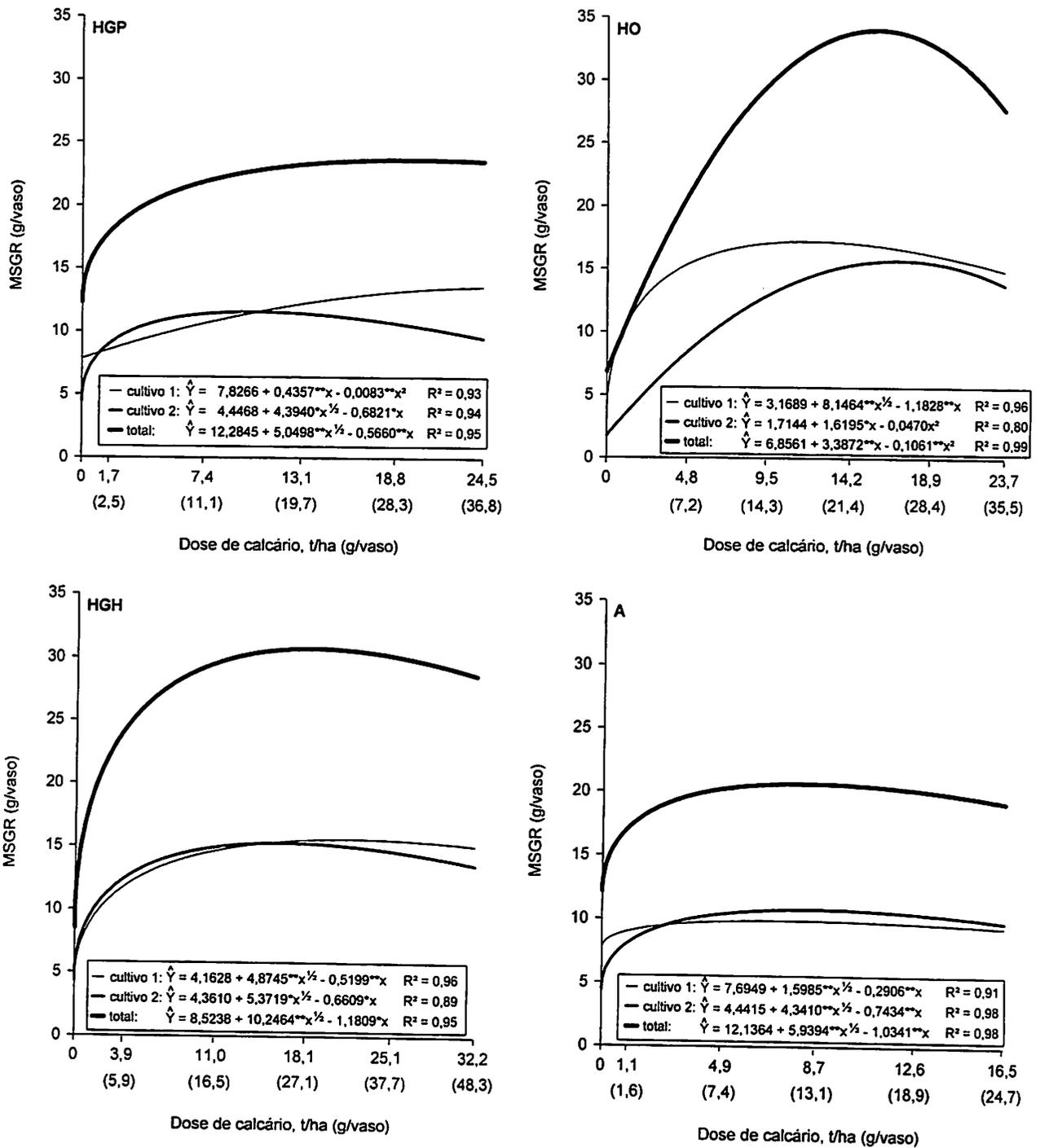
6.3.2 Produção de grãos

A Figura 1 mostra para todos os solos estudados, resposta altamente significativa ($P < 0,01$) na produção de grãos do feijoeiro à aplicação de calcário no primeiro (1^a), segundo (2^a)

e total dos cultivos. De maneira geral, a resposta seguiu um modelo raiz quadrática, ou seja, houve um grande incremento na produção de grãos nas doses mais baixas de calcário. Estes resultados confirmam aqueles obtidos no Capítulo I, onde observou-se que a omissão de calagem (C1-Cal) promoveu uma redução significativa na produção da cultura, mostrando que a calagem é uma prática essencial quando se pretende altas produtividades nestes solos.

Para se atingir a produção máxima de uma determinada cultura, são necessárias aplicações de doses de adubos e/ou calcário que, em geral, não são economicamente viáveis. Frequentemente, consideram-se doses que proporcionam 80 ou 90% do rendimento máximo, as quais espera-se aproximar do rendimento máximo econômico (Faquin et al., 1995). Assim, estimaram-se estas doses para 90% da produção máxima a partir das equações de regressão apresentadas na Figura 1, que relacionam a produção de grãos em função das doses de calcário aplicadas, para todos os solos no 1^o, 2^o e total dos cultivos (Quadro 4). Certamente, neste índice de produção, a relação custo:benefício torna-se substancialmente menor. Considerando a produção total de grãos (1^o + 2^o cultivos), no índice de 90%, haveria uma economia de 70, 36, 61 e 74% nas doses de calcário para os solos HGP, HO, HGH e A, respectivamente, ao passo que a produção de grãos sofreria um decréscimo de apenas 10%. As maiores economias verificadas para os solos HGP, HGH e A são devidas aos elevados incrementos na produção, com as menores doses de calcário aplicadas, o que levou ao ajuste raiz quadrática entre as variáveis (Figura 1).

As doses de calcário para 90% da produção máxima, variaram consideravelmente entre os solos, devido suas características químicas serem bastante diferenciadas (Quadros 2 e 3). Esperava-se que o solo HGH, por apresentar o maior teor de matéria orgânica, fosse aquele a exigir a maior dose de calcário entre os solos. Sabe-se que a matéria orgânica confere aos solos



**, * Significativo à 1 e 5% respectivamente.

FIGURA 1 - Produção de matéria seca de grãos (MSGR) no primeiro (1^o), segundo (2^o) e total (1^o + 2^o) dos cultivos, pelo feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A) em função das doses de calcário aplicadas.

elevado poder tampão, sendo necessário altas doses de corretivos para provocar pequenos aumentos de pH. O solo A, por ter menores teor de matéria orgânica e acidez potencial (H + Al) e, maiores teores de Ca e Mg e saturação por bases (Quadro 3), foi aquele que exigiu a menor dose de calcário para atingir 90% da produção máxima (Quadro 4). Almeida et al. (1978), observaram que a soja respondeu significativamente à aplicação de calcário em solos Glei Pouco Húmico, Orgânico e Aluvial e as doses recomendadas variaram de 20, 0,9 e 1,5 t/ha, respectivamente. Com feijão, Quaggio et al. (1985) obtiveram em solo Orgânico do Vale do Ribeira - SP, resposta em produção da ordem de 30-40% pela aplicação de calcário até a dose de 12 t/ha.

QUADRO 4 - Produção estimada de matéria seca de grãos (MSGR) no primeiro (1^o), segundo (2^o) e total (1^o + 2^o) dos cultivos, correspondentes a 90 e 100% da produção máxima e as doses de calcário estimadas para promover essas produções pelo feijoeiro cultivado em quatro solos de várzea.

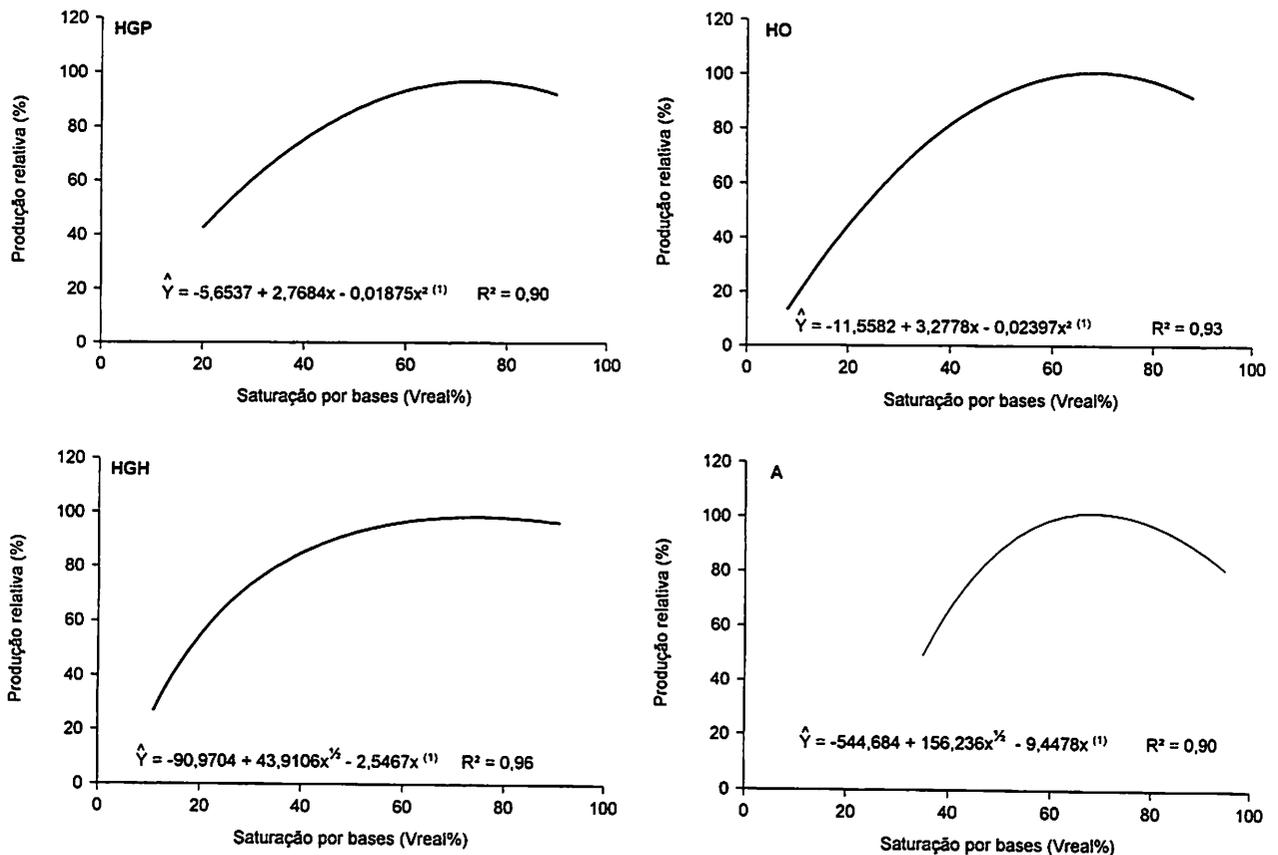
Solo	Cultivo	MSGR (g/vaso)		Dose calcário (t/ha)	
		90%	100%	90%	100%
HGP	1 ^o	12,1	13,5	13,4	26,1
	2 ^o	10,4	11,5	3,7	10,4
	1 ^o + 2 ^o	21,2	23,5	5,9	19,9
HO	1 ^o	15,4	17,1	4,6	11,8
	2 ^o	14,1	15,7	11,4	17,2
	1 ^o + 2 ^o	30,5	33,9	10,3	16,0
HGH	1 ^o	14,0	15,5	8,8	21,9
	2 ^o	13,7	15,3	6,4	16,5
	1 ^o + 2 ^o	27,7	30,7	7,4	18,8
A	1 ^o	8,9	9,8	4,6	7,5
	2 ^o	9,7	10,8	2,9	8,5
	1 ^o + 2 ^o	18,6	20,6	2,1	8,2

Relacionaram-se a produção relativa (PR%) de grãos do 1º e 2º cultivos com a saturação por bases real (Vreal) determinadas antes de cada cultivo, para cada solo estudado (Figura 2). Utilizando-se do mesmo critério usado para a produção absoluta de grãos em função das doses de calcário, estimaram-se o Vreal correspondente a 90% da produção relativa, através das equações de regressão da Figura 2 (Quadro 5). Observa-se que a produção relativa de 100% do feijoeiro, está situada entre 68 (HO e A) e 74%(HGP e HGH) de saturação por bases (Vreal) no solo. No índice de 90%, o Vreal apresentou uma queda substancial, representando certamente uma economia significativa na dose de calcário, com uma redução de apenas 10% na produção relativa de grãos.

Os valores do Vreal para 90% da PR, variou pouco entre os solos, de um mínimo de 44% no HGH a um máximo de 52% no A, abaixo do recomendado pela Comissão... (1989) e Raij et al. (1996) que é de 70%.

A Figura 3 mostra que houve uma relação bastante estreita entre o Vreal e o pH em água dos solos de várzea estudados, avaliados antes de cada cultivo. Substituindo-se os Vreais para 90 e 100% da PR (Quadro 5) nas equações que relacionam o Vreal com pH em água (Figura 3), estimaram-se para cada solo, os valores de pH em água correspondentes a essas produções (Quadro 5). Considerando-se adequada uma produção relativa de 90%, observa-se que o pH em água variou entre os solos de um mínimo de 5,1 a um máximo 5,3.

Assim, de acordo com a classificação da Comissão... (1989) o feijoeiro atingiu uma PR de 90% em valores de pH médio e para o Vreal, segundo a literatura citada e Raij et al. (1996) em valores médio/baixo (Quadro 5).

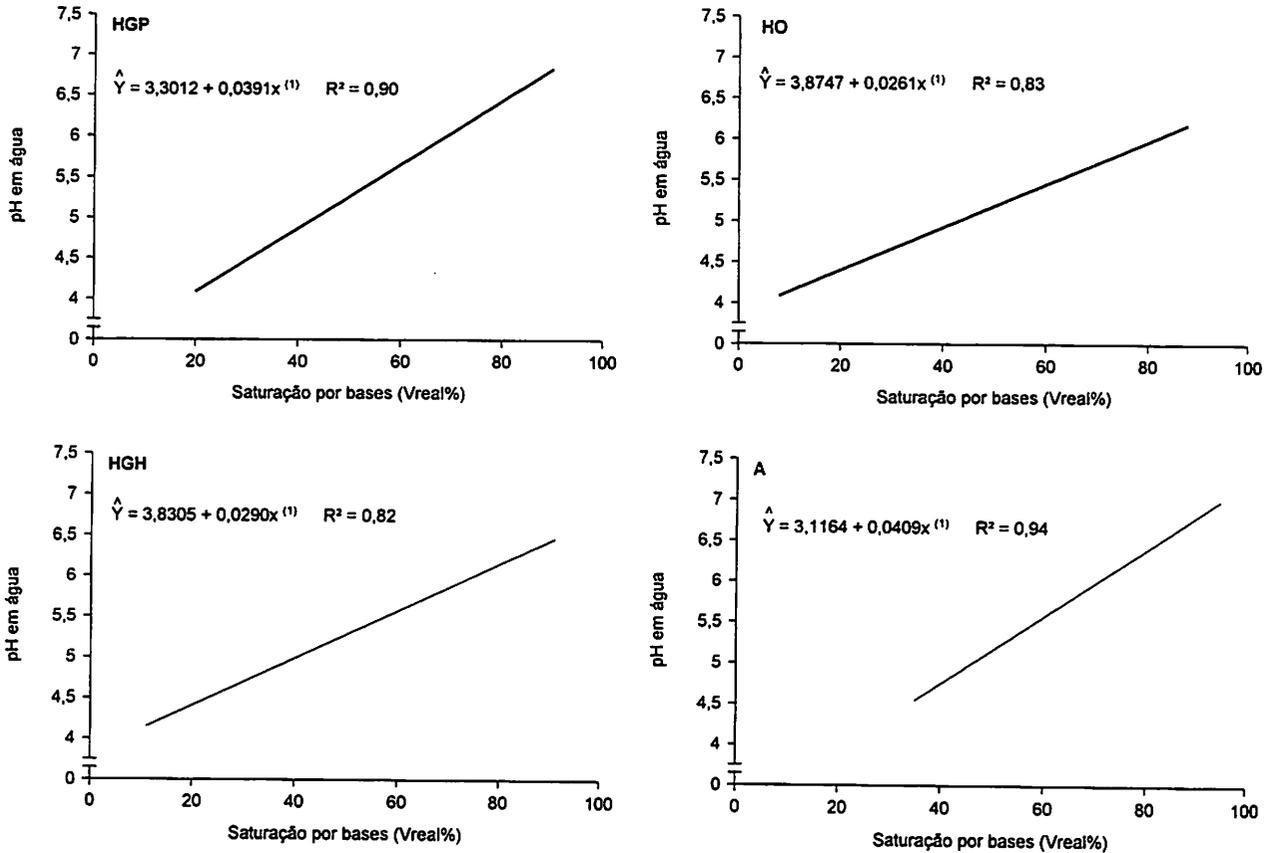


¹Significativo à 1%

FIGURA 2 - Produção relativa de grãos de dois cultivos do feijoeiro em função da saturação por bases real (Vreal) nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A) avaliadas antes de cada plantio.

QUADRO 5 - Saturação por bases real (Vreal) e pH em água estimados correspondentes a 90 e 100% da produção relativa do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A).

Solos	Vreal		pH	
	90%	100%	90%	100%
HGP	51	74	5,3	6,2
HO	48	68	5,1	5,6
HGH	44	74	5,1	6,0
A	52	68	5,3	5,9



¹Significativo à 1%

FIGURA 3 - Relação entre o pH em água (1:2,5) e a saturação por bases dos dois cultivos sucessivos do feijoeiro, em solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A).

Quaggio et al. (1985) obtiveram resposta em produção do feijoeiro à calagem em solo orgânico até 12 t/ha, que foi suficiente para elevar o pH a 4,9 e a saturação por bases de aproximadamente 50%. Em solo Glei Pouco Húmico, com dois cultivos sucessivos de arroz e um de feijão na entressafra, não foram observados aumentos significativos na produção em doses de calcário superiores a 5 t/ha, equivalente à metade daquela recomendada pelo método SMP para elevar o pH a 5,5 (EMBRAPA, 1982). Também em solo Glei Pouco Húmico, Miranda (1993)

observou que a dose de 4 t/ha de calcário foi aquela mais indicada para a correção da acidez para a sucessão trigo-soja, sendo esta dose equivalente àquela recomendada pelo SMP para o pH em água para 5,5 ou saturação por bases a 50%.

Os resultados obtidos no presente trabalho e os anteriormente citados concordam com as recomendações de McLean e Brown (1984), de que a calagem para solos de várzea deve ser feita com a finalidade de elevar o pH em água do solo a 5,2, ou em torno de 1,0 a 1,5 unidade abaixo do adequado para solos minerais. Os autores justificam que solos com elevados teores de matéria orgânica, os efeitos complexantes dos compostos orgânicos são suficientes para eliminar a toxicidade de Al e Mn, em níveis de correção do solo mais baixos.

Como os solos orgânicos apresentam alto poder tampão, as doses necessárias para elevar o pH e/ou a saturação por bases aos níveis preconizados para os solos minerais são muito elevadas. Neste caso, segundo Quaggio et al. (1987), a calagem deve ser feita para elevar a saturação por bases a níveis de 50-60%, evitando-se também, desequilíbrios nutricionais do Ca e Mg com o K e possíveis deficiências dos micronutrientes Zn, Mn e B, caso não seja feita aplicação destes.

Calculando-se as doses de calcário recomendadas pelo método da saturação por bases para elevar V a 70%, de acordo com as análises químicas dos solos originais apresentadas nos Quadros 2 e 3, tem-se: HGP - 4,05, HO- 10,4, HGH - 7,18 e A - 2,34 t/ha, com calcário de PRNT = 100% e incorporação de 0-20cm de profundidade. Da mesma forma, para o método do Al e Ca + Mg, as doses seriam: HGP - 4,00, HO- 6,30, HGH - 4,30 e AL - 1,10 t/ha.

Observa-se que as doses recomendadas pelo método da saturação por bases para elevar V a 70%, são as que mais se aproximaram daquelas determinadas para 90% da produção máxima total dos dois (1^o + 2^o) cultivos (Quadro 4). Lembra-se que as doses de calcário aplicadas

neste trabalho estabelecidas nos tratamentos, foram calculadas com base na curva de incubação de experimentos preliminares com os solos estudados, e não pelo uso da fórmula do método da saturação por bases. Este fato justifica para cada tratamento, as doses mais baixas estabelecidas pela fórmula quando comparadas com as aplicadas pela curva de incubação (Quadro 1). Assim, conclui-se que a recomendação pelo método da saturação por bases para elevar V a 70%, para estes solos, na realidade não eleva o V - e também o pH - ao valor estabelecido, mas a um valor mais baixo e suficiente para promover as máximas produções econômicas (PR = 90%).

Com relação ao método do Al e Ca + Mg, observa-se que as doses recomendadas foram menores daquelas do Quadro 4, para 90% da produção máxima do total dos cultivos (1^o + 2^o).

Estes resultados estão de acordo com o relato de Miranda (1993) que afirma que as recomendações de calagem para solos de várzea drenados baseada em dados de solos normais, nem sempre apresentam resultados satisfatórios; podem sub ou superestimar as reais necessidades, dependendo das características do solo.

6.3.3. Correlações entre características químicas do solo e a produção

No Quadro 6, encontram-se os coeficientes de correlação linear simples entre as características químicas dos solos estudados afetadas pela calagem e a produção de grãos pelo feijoeiro. Observa-se para todos os solos, elevadas e significativas correlações entre estas características e a produção do feijoeiro. Estes resultados mostram que a calagem fornecendo Ca e Mg e em consequência, aumentando a soma (S) e a saturação por bases (V); elevando o pH e

QUADRO 6 - Coeficientes de correlação linear simples entre o pH, teores de Ca, Mg e Al nos solos, H + Al, soma de bases (S), CTC efetiva (t), saturação por Al (m) e por bases (V) antes de cada cultivo e a produção de grãos no primeiro e segundo cultivos, pelo feijoeiro cultivado em quatro solos de várzea.

Cultivo	pH	Ca	Mg	Al	H + Al	S	t	m	V
Glei Pouco Húmico									
1 ^o	0,97**	0,94**	0,86*	-0,78*	-0,90**	0,95**	0,96**	-0,74*	0,93**
2 ^o	0,68 ⁺	0,77*	0,84*	-0,91**	-0,82*	0,78*	0,76*	-0,93**	0,81*
Orgânico									
1 ^o	0,64 ⁺	0,77*	0,73*	-0,95**	-0,81*	0,75*	0,71 ⁺	-0,98**	0,78*
2 ^o	0,78*	0,82*	0,88*	-0,76*	-0,86*	0,85*	0,84*	-0,72 ⁺	0,86*
Glei Húmico									
1 ^o	0,86*	0,90**	0,91**	-0,98**	-0,93**	0,92**	0,89**	-0,98**	0,91**
2 ^o	0,71 ⁺	0,76*	0,77*	-0,91**	-0,84*	0,77*	0,75*	-0,92**	0,78*
Aluvial									
1 ^o	0,69 ⁺	0,71 ⁺	0,75*	-0,79*	-0,71 ⁺	0,72 ⁺	0,71 ⁺	-0,91**	0,75*
2 ^o	0,75*	0,78*	0,88**	-0,90**	-0,88*	0,84*	0,83*	-0,96**	0,87*
Todos os solos									
1 ^o	0,47*	0,80**	0,83**	-0,66**	-0,49**	0,83**	0,80**	-0,71**	0,67**
2 ^o	0,59**	0,79**	0,82**	-0,66**	-0,55**	0,81**	0,79**	-0,70**	0,71**

** , * , + Significativo a 1, 5 e 10%, respectivamente.

consequentemente reduzido os teores e a saturação por Al (m), promoveu alterações químicas bastante favoráveis e essenciais ao crescimento e produção do feijoeiro nestes solos.

6.4 CONCLUSÕES

A calagem é uma prática essencial para a obtenção de altas produtividades do feijoeiro nos solos de várzea estudados.

Os níveis de saturação por bases e de pH em água nestes solos, ideais para o feijoeiro, variaram de 44 a 52% e de 5,1 a 5,3, respectivamente, valores bem abaixo daqueles preconizados para solos minerais.

As doses de calcário recomendadas pela fórmula do método da saturação por bases para elevar V₂ a 70%, aproximaram-se daquelas necessárias para elevar o V e o pH aos níveis ideais para o feijoeiro nestes solos; o método do Al e Ca + Mg subestimou estas doses.

6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D.L.; SUHET, A.R.; FRAGA, M.A.S.; EIRA, P.A.; POLLI, H. Resposta da cultura da soja (*Glycina max* (L. Merrill)) à adubação fosfatada e à calagem em quatro solos dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.2, n.3 p.196-200, set./dez.1978.
- ANDRADE, M.J.B. de; ABREU, A. de F.B.; RAMALHO, M.P. **Recomendações para a cultura do feijoeiro em Minas Gerais**. Lavras: ESAL/Coordenadoria de Extensão. 1992. 12p. (Circular, 6).
- BITTENCOURT, V.C.; GOMES, V.B.; ZEMBELLO JUNIOR, E. Efeito da aplicação de calcário em Terra Roxa Estruturada e sua influência na produção do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, Campinas, 1976. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976.p.265-271.

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª Aproximação.** Lavras, 1989. 159p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos cerrados. **Relatório Técnico Anual, 1980-1981.** Planaltina, 1982. p.83-86.
- FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P. de; DUTRA, L.G. Limitações químicas dos solos de cerrado e de várzeas. **Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAF-APA, 1996. p.8-11. (EMBRAPA-CNPAF. Documento, 65).
- FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; ENVANGELISTA, A.R.; GUEDES, G.A.A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da Região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas, v.19, n.1, p.87-94, jan./abr.1995.
- GARCIA, L. **Efeito de níveis de saturação em bases e micronutrientes sobre a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)** Lavras: ESAL, 1990. 83p. (Dissertação- Mestrado em Fitotecnia).
- LUCAS, R.E.; DAVIS, J.F. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. **Soil Science**, Madison, v.92, n.4 p.177-182, Oct.1961.
- McLEAN, E.O.; BROWN, J.R. Crop response to lime in the midwestern United States. In: ADAMS, F. **Soil acidity and liming**, Madison: ASA/CSSA/SSA, 1984. p.267-304.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Agricultura. **Programa de aproveitamento de várzeas - PROVÁRZEAS**, Belo Horizonte, 1975. 64p.
- MIRANDA, L.N. Resposta da sucessão soja-trigo a doses e modo de aplicação de calcário em solo Glei Pouco Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.75-82, jan./abr. 1993.
- MORAES, J.F.V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: POTAFOS, 1988. p.260-301.
- QUAGGIO, J.A. Reação do solo e seu controle. In: DECHEN, A.R.; CARMELLO, Q.A.C. **Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo.** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.53-89.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; BATAGLIA, O.C. Calagem para rotação feijão-milho verde em solo orgânico do vale do Rio Ribeira de Iaquape (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9,n.3, p.256-261, set./dez. 1985.

- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; YANAI, K. Resposta da abobrinha italiana a doses de calcários com diferentes teores de magnésio em solo orgânico do Vale do Ribeira-SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.2, p.167-173, maio/ago. 1987.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. FURLANI, A.M.C. (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. 255p. (Boletim Técnico, 100).
- ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, N.J. de O. (coord). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.353-416.
- ROSOLEM, C.A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 93p.
- × SANTOS, A.B. dos; SILVEIRA, P.M. da. Cultivo em várzeas. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, N.J. de O. (coods). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFÓS, 1996, p.589-617.
- SILVA, A.R. da. Provárzeas/Profir. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1, Goiânia, 1987. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1988. p.13-14. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 22).
- VIEIRA, C. **Cultura do feijão**. Viçosa: UFV, 1976. 120p.

7 CAPÍTULO IV

NUTRIÇÃO MINERAL EM CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO E MANGANÊS DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA SUBMETIDOS À CALAGEM

RESUMO

Foi conduzido um experimento em vasos de três dm³, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, no período de agosto de 1995 a junho de 1996, com o objetivo de avaliar o efeito de doses de calcário na nutrição do feijoeiro (cv. Carioca-MG) em Ca, Mg, K e Mn, cultivado em amostras de quatro solos de várzea do Sul de Minas Gerais. Foram realizados dois cultivos sucessivos utilizando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 × 4, com quatro repetições, sendo seis níveis de saturação por bases (V%): saturação natural, 40, 60, 80, 100 e 120% e quatro solos: Glei Pouco Húmico, Orgânico, Glei Húmico e Aluvial. Os resultados mostraram que a calagem nestes solos é essencial para o fornecimento de Ca e Mg como nutrientes para o feijoeiro e para promover a neutralização do Al e Mn tóxicos. A calagem destes solos deve ser feita para elevar a saturação por bases real a 50%, evitando-se desequilíbrios nutricionais e possíveis deficiências de micronutrientes.

MINERAL NUTRITION IN TERMS OF CALCIUM, MAGNESIUM, POTASSIUM AND MANGANESE OF THE BEAN PLANT CULTIVATED ON LIMED LOWLAND SOILS

ABSTRACT

An experiment was conducted in a 3 dm³ pots, in greenhouse at the Department of Soil Science of the Universidade Federal de Lavra-MG, over the period of August, 1995 to June, 1996, with the purpose of evaluating the effect of limestone doses upon the nutrition of the bean plant (cv. Carioca-MG) in terms of Ca, Mg, K and Mn, cultivated on four lowland soils from the South of Minas Gerais-Brazil. Two successive croppings were performed, using a completely randomized experimental design, in a 6 × 4 factorial scheme, with four replications, being six levels of base saturation (V%): natural saturation, 40, 60, 80, 100 and 120% and four soils: Low Humic Gley, Bog soil, Humic Gley and Aluvial soil. The results showed that liming in these soils is essential for supplying Ca and Mg as nutrients to the bean plant and also for promoting Al and Mn neutralization. The liming of these soils should be done to raise their real base saturation to 50%, avoiding nutritional umbalances and possible micronutrient deficiencies.

7.1 INTRODUÇÃO

Como a maior parte dos solos brasileiros, os solos de várzea têm problemas relativos à fertilidade e para serem explorados racionalmente, devem ser conhecidos seus problemas, bem como avaliada a sua capacidade de suprir nutrientes às plantas.

Por serem na maioria ácidos, os solos de várzea apresentam-se com problemas de deficiência, dentre outros nutrientes, de Ca e Mg e toxicidade de Al e Mn (Fageria, Oliveira e

Dutra, 1996). A calagem, portanto, torna-se uma prática obrigatória nestes solos, quando se pretende obter elevadas produtividades, principalmente em culturas pouco tolerantes à acidez como o feijoeiro. A calagem, além de fornecer Ca e Mg, promove a elevação do pH e com isto, a neutralização do Al e do Mn tóxicos, aumentando a disponibilidade de outros nutrientes (Rosolen, 1996).

De acordo com EMBRAPA (1982), os solos típicos de várzea em Minas Gerais enquadram-se principalmente nas classes Glei Pouco Húmico, Orgânico, Glei Húmico e Aluvial, variando nas suas características químicas, físicas e microbiológicas. Segundo McLean e Brown (1984) a calagem para os solos orgânicos deve ser feita para manter o pH de 1 a 1,5 unidade abaixo daquele considerado como adequado para os solos minerais. Estes autores justificam que os compostos orgânicos, pelos seus efeitos complexantes, seriam suficientes para eliminar a toxicidade por Al e Mn. Alguns trabalhos têm comprovado este fato, citando-se para a rotação feijão-milho verde e abobrinha-italiana em solo Orgânico (Quaggio et al., 1985 e 1987, respectivamente) e para a sucessão soja-trigo em solo Glei Pouco Húmico (Miranda, 1993).

A recomendação de calagem para solos de várzea drenados tem sido baseada em resultados obtidos em solos normais. Como estes solos têm características próprias, as doses recomendadas pelos métodos tradicionais não têm apresentado resultados satisfatórios. Segundo Miranda (1993) estas recomendações podem sub ou superestimar a dose a ser aplicada, dependendo das características do solo; e com isto, afetar a nutrição mineral, o crescimento e a produção das plantas. De acordo com Quaggio et al. (1987), em solos Orgânicos, a calagem deve ser feita para níveis de 50-60% de saturação por bases, para evitar desequilíbrios nutricionais e deficiência de micronutrientes como zinco, boro e manganês. Lembra-se que para o feijoeiro,

independente do tipo de solo, a calagem tem sido recomendada para elevar a saturação por bases a 70% (Comissão..., 1989; Raij et al., 1996).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses de calcário na nutrição do feijoeiro em Ca, Mg, K e Mn, cultivado em quatro solos de várzea do sul de Minas Gerais.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos de três dm³ em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (DCS-UFLA), durante o período de agosto de 1995 a junho de 1996. A cultivar de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizada foi a Carioca-MG que é recomendada para a região (Andrade, Abreu e Ramalho, 1992).

Foram realizados dois cultivos sucessivos com o feijoeiro. Tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 × 4, sendo seis níveis de saturação por bases (V%): saturação natural (Vnat.); 40 (V40); 60 (V60); 80 (V80); 100 (V100) e 120% (V120) e quatro solos de várzeas (não sistematizada), Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), artificialmente drenado, Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A), com quatro repetições. A caracterização química e física dos solos foram apresentadas no Quadro 1 do Capítulo I.

As doses de calcário equivalentes aos V% estabelecidos nos tratamentos foram determinadas pelas curvas de incubação e apresentadas no Quadro 1 do Capítulo III.

Utilizou-se um calcário dolomítico comercial calcinado e micropulverizado, com PRNT = 100%; CaO = 35% e MgO = 14%, aplicado no primeiro cultivo. É importante lembrar,

que no segundo cultivo não houve aplicação de calcário, objetivando-se com isso, o estudo do seu efeito residual.

Também aplicou-se uma adubação básica de plantio no primeiro e segundo cultivos. Adubações de cobertura com N e K também foram realizadas em ambos os cultivos. Os detalhes das doses e das fontes dos nutrientes aplicadas na adubação básica de plantio e em cobertura nos dois cultivos, e o período de incubação dos tratamentos, estão descritos em Material e Métodos do Capítulo III.

A análise química dos solos após a calagem e adubação antes do primeiro cultivo, também encontram-se no Capítulo III (Quadros 2 e 3).

Nos dois cultivos, das duas plantas conduzidas por vaso no período experimental, uma foi colhida na época do florescimento (R6) e a outra no final de ciclo (R9). A parte aérea das plantas foi separada em hastes + ramos, folhas e grãos (estádio R9), seca em estufa 65-70°C e pesada. O efeito dos tratamentos na produção de grãos e nas características dos solos já foram apresentadas e discutidas no Capítulo III, sendo que neste capítulo será avaliado o efeito dos tratamentos nos teores de Ca, Mg, K e Mn na matéria seca das folhas no florescimento (R6) no primeiro (1^o) e segundo(2^o) cultivos, bem como o acúmulo total (1^o + 2^o cultivos) destes nutrientes na matéria seca da parte aérea total (hastes + folhas + grãos). Os métodos químicos utilizados para a determinação dos teores dos nutrientes no material vegetal foram descritos no Capítulo II.

Os dados de teores de Ca, Mg, K e Mn nas folhas na época do florescimento, foram submetidos à análise de variância. Ajustaram-se equações de regressão relacionando-se os teores de Ca e Mg nas folhas do feijoeiro na época do florescimento, com as doses de calcário aplicadas, para cada cultivo realizado em cada solo. Substituindo-se nestas equações as doses de

calcário estimadas para 90% da produção máxima de grãos, para cada cultivo e solos (Quadro 4, Capítulo III), obtiveram-se os níveis críticos de Ca e Mg nas folhas do feijoeiro. Também foram ajustadas equações de regressão para a acumulação total nos dois cultivos, de Ca, Mg, K e Mn na parte aérea (hastes + folhas + grãos) na época da colheita (R9), em função das doses de calcário aplicadas. Para análises estatísticas usou-se o programa de Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG).

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Justifica-se o estudo da nutrição mineral do feijoeiro em Ca, Mg, K e Mn neste capítulo, devido: Ca e Mg - os solos estudados serem pobres nestes nutrientes e o calcário fonte destes nutrientes às plantas; o K - pela sua interação catiônica com Ca e Mg, que em altas doses de calcário pode ter sua deficiência induzida e, o Mn - pela sua presença em níveis tóxicos em solos de várzea, fato confirmado pelos sintomas de toxicidade que as plantas apresentaram no tratamento sem calagem e pelos elevados teores nas plantas, como apresentado e discutido no Capítulo II.

7.3.1 Teores de Ca, Mg, K e Mn nas folhas no florescimento

O Quadro 1 mostra os teores de Ca, Mg, K e Mn avaliados nas folhas do feijoeiro da planta coletada na época do florescimento, para os dois cultivos realizados nos quatro solos estudados. Observa-se, de maneira geral, um aumento nos teores de Ca e Mg com a elevação das doses de calcário, o que é justificado pela presença de ambos no calcário aplicado. No 2^o cultivo,

QUADRO 1. Teores foliares de cálcio, magnésio e potássio (g/kg) e manganês (mg/kg) na época do florescimento, no 1º e 2º cultivos do feijoeiro em quatro solos de várzea, em função das doses de calcário aplicadas.

Calcário	Ca		Mg		K		Mn	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
t/ha	Glei Pouco Húmico							
0	24,6	17,7	2,2	2,1	36,2	59,8	600,6	681,2
1,7	17,8	16,2	3,8	3,0	21,3	28,7	231,9	283,4
7,4	27,1	21,9	7,8	7,9	21,6	19,4	32,9	63,3
13,1	32,8	24,2	8,4	9,0	17,2	21,5	32,5	30,6
18,8	37,0	28,2	7,8	9,3	18,0	24,8	32,9	29,0
24,5	46,0	27,6	8,1	8,0	19,9	22,3	33,6	23,4
t/ha	Orgânico							
0	12,7	14,0	1,4	2,1	21,8	65,6	133,3	232,0
4,8	29,9	23,4	8,6	6,5	22,6	40,3	146,1	113,3
9,5	39,9	18,8	11,3	6,5	23,8	19,0	153,1	69,4
14,2	25,8	20,7	10,0	8,2	25,5	19,3	163,4	58,3
18,9	28,0	19,1	11,2	8,3	29,6	15,7	141,7	43,8
23,7	28,0	17,5	11,1	9,2	29,9	13,5	116,1	29,9
t/ha	Glei Húmico							
0	20,3	9,0	7,9	1,6	57,6	50,6	186,8	133,7
3,9	22,7	12,6	6,8	4,5	25,2	13,5	133,2	62,4
11,0	29,4	15,5	9,7	6,5	23,3	12,8	119,8	53,3
18,1	25,5	18,6	13,3	8,3	33,1	13,2	136,4	46,3
25,1	29,0	20,2	12,7	9,9	30,3	11,8	151,3	36,3
32,2	19,9	24,4	11,7	9,7	31,3	16,8	65,8	32,9
t/ha	Aluvial							
0	25,3	22,0	2,9	3,7	31,0	27,9	754,3	1628,6
1,1	26,0	21,9	3,0	4,4	25,2	23,7	363,6	804,7
4,9	35,1	20,8	5,5	5,7	27,1	17,1	114,4	114,9
8,7	37,9	20,5	6,7	6,1	24,1	16,0	108,3	66,0
12,6	40,2	25,9	8,1	6,0	30,2	15,7	95,9	61,7
16,5	41,6	19,6	7,9	5,8	26,0	13,3	83,6	62,0
*DMS Solo x Doses	5,71	4,22	2,43	1,86	12,18	7,99	38,73	138,88

* Significativo a 1%

os teores destes nutrientes tenderam a ser menores que aqueles observados no 1º cultivo, fato justificado pelo efeito de diluição (Jarrel e Beverly, 1981), devido à maior produção de massa vegetal pelas plantas neste cultivo, na época do florescimento.

Para o K, o comportamento dos seus teores foliares foram diferentes do Ca e Mg, apresentando uma tendência dos menores valores ocorrerem nas doses intermediárias de calcário. Já é bem conhecida a interação iônica entre o Ca e Mg com o K no processo de absorção pelas raízes, sendo que com a elevação na concentração de um, ocorre a redução na absorção do outro, processo denominado de inibição competitiva (Malavolta, 1980). O conhecimento da ocorrência desta interação é da maior importância prática pois, o desequilíbrio nas relações entre os nutrientes no solo, reflete-se, em último caso, no desequilíbrio dos mesmos na planta, afetando seu estado nutricional e sua produtividade. Os teores de K mais baixos nas doses intermediárias de calcário - bem como no 2º cultivo, à exceção do HGP - são devidos ao efeito de diluição (Jarrel e Beverly, 1981). A produção de massa seca pelas plantas na época do florescimento, tal como ocorreu com a produção de grãos no final do ciclo (Figura 1, Capítulo III), apresentou um modelo tipo quadrático ou raiz quadrática (dados não apresentados), com maior crescimento nas doses intermediárias de calcário, promovendo a diluição do K no tecido foliar.

Para todos os solos e cultivos, o aumento das doses de calcário foi acompanhado pela redução dos teores foliares de Mn, à exceção do solo HO no 1º cultivo (Quadro 1). Os teores de Mn na ausência (dose 0), principalmente, mas também na dose mais baixa de calcário, foram bastante elevados. Sabe-se que o aumento do pH promove uma redução da disponibilidade do deste micronutriente no solo (Vale, Guilherme e Guedes, 1993) e em consequência, na sua absorção pelas plantas. A análise química dos solos realizada após a aplicação dos tratamentos e antes do primeiro cultivo (Quadros 2 e 3, Capítulo III) mostra este fato. Estes Quadros mostram

ainda que os solos A, principalmente, mas também HGP, independente da calagem, foram aqueles que maiores teores de Mn apresentaram antes dos cultivos. Isto justifica os maiores teores foliares do micronutriente observados nas folhas das plantas cultivadas nestes solos (Quadro 1), principalmente no A, bem como os sintomas de toxicidade de Mn observados nas plantas nos tratamentos de ausência (dose 0) e na dose mais baixa de calcário aplicada. Faquin e Vale (1991) citam trabalhos com feijoeiro, onde os teores de toxidez de Mn nas folhas, relacionados com uma redução de 10% no crescimento, variaram de 100 a 3.500 mg/kg.

Nos solos HO e HGH, foram observados teores nos solos (Quadro 2 e 3, Capítulo III) e também foliares (Quadro 1) de Mn mais baixos que nos demais. Estes dados estão de acordo com McLean e Brown (1984) que afirmam que em solos com elevado teor de matéria orgânica, os efeitos tóxicos dos íons como o Al, Fe e no presente caso, o Mn, são amenizados pelo efeito complexante dos compostos orgânicos.

A tendência dos teores foliares de Mn serem mais baixos no 2º cultivo, nos tratamentos de maior dose de calcário, pode também, ser justificada pelo efeito de diluição, visto o maior crescimento das plantas nestes tratamentos.

Raij et al. (1996) citam como teores adequados em todas as folhas do feijoeiro na época do florescimento: Ca = 10-25, Mg = 2,0-5,0, K = 20-24 g/kg e Mn = 15-100 mg/kg. Comparando-se estes valores com aqueles do Quadro 1, observa-se que embora os solos originalmente apresentassem teores baixos de Ca e Mg - à exceção do A que apresentou teores médios - (Quadro 3, Capítulo III), os teores foliares destes nutrientes na ausência de calagem (dose 0) apresentaram-se dentro da faixa acima citada, embora próximo do limite inferior. O pequeno crescimento e produção do feijoeiro na ausência de calagem, certamente, não foi apenas pela deficiência de Ca e Mg, mas pelo conjunto de fatores desfavoráveis induzidos pela acidez,

dentre eles a toxicidade de Al e Mn, principalmente. Assim, a pequena produção de matéria seca deste tratamento promoveu a concentração do Ca e do Mg nas folhas, permitindo que seus teores se apresentassem dentro da faixa crítica. Portanto, nestes solos, a aplicação de calcário é importante, também, como fonte de Ca e Mg para as plantas. O aumento das doses de calcário foi acompanhado pelo aumento nos teores foliares destes nutrientes, sendo que nas doses mais elevadas, em alguns casos, os mesmos apareceram em valores excessivos.

Para o K, os solos HO, HGH e A, nas doses mais elevadas de calcário do 2º cultivo, seus teores apresentaram-se em valores abaixo da faixa crítica, embora, nenhum sintoma visual de deficiência tenha sido observado nas plantas durante o período experimental.

Os teores de Mn na ausência (dose 0) e na menor dose de calcário aplicado, apresentam-se na maioria dos solos e cultivos, em teores bem acima da faixa adequada, principalmente nos solos HGP e A (Quadro 1), justificando os sintomas de toxicidade observados nas plantas nestes tratamentos. Nos demais tratamentos, os teores mantiveram-se dentro da faixa crítica.

Assim, em termos nutricionais, pode-se afirmar que as maiores produções de grãos do feijoeiro observadas nas doses intermediárias de calcário, detalhadamente estabelecidas no Capítulo III para todos os solos, foram devidas ao fornecimento de Ca e Mg em quantidades adequadas, elevação do pH a valores suficientes para a redução da toxicidade de Al e Mn, e com isto, um equilíbrio nutricional adequado nas plantas. Na ausência (dose 0) e na dose de calcário mais baixa, os menores teores de Ca e Mg, elevados de Mn e, possivelmente, elevados de Al, certamente, foram os fatores nutricionais que promoveram as baixas produções de grãos observados nestes tratamentos em todos os solos (Figura 1, Capítulo III). Ao contrário, nas altas doses de calcário, o desequilíbrio nutricional gerado pelos elevados teores de Ca e Mg e, redução

da disponibilidade de alguns micronutrientes com a elevação do pH, possivelmente, foram os principais fatores limitantes.

7.3.2 Níveis críticos de Ca e Mg nas folhas no florescimento

As equações de regressão ajustadas para os teores foliares de Ca e Mg na época do florescimento em função das doses de calcário aplicadas, para cada solo nos dois cultivos, são apresentadas nos Quadro 2 e 3, respectivamente. Substituíram-se nestas equações as doses de calcário estimadas para 90% da produção máxima de grãos para cada solo e cultivo (Quadro 4, Capítulo III), obtendo-se, assim, os níveis críticos de Ca e Mg nas folhas do feijoeiro no florescimento, para todos os solos e cultivos para este nível de produção (Quadro 4).

Comparando-se os níveis críticos observados (Quadro 4) com os citados por Raij et al. (1996) - Ca = 10-25 e Mg = 2,0-5,0 g/kg - observa-se que o Ca no 1^o cultivo esteve sempre acima e no 2^o cultivo sempre dentro da faixa adequada apresentada. Para o Mg, praticamente o mesmo comportamento foi observado, destacando-se que no 2^o cultivo, os valores estiveram sempre próximos do limite superior da faixa crítica apresentada pelos autores.

De acordo com Faquin et al. (1995), as diferenças entre as faixas críticas observadas e as da literatura, são devidos, possivelmente, a diversos fatores, como época de cultivo, método utilizado, doses dos outros nutrientes aplicados, idade da planta ou do órgão amostrado, época de amostragem condições de cultivo - campo ou controlada, entre outros.

QUADRO 2 - Equações de regressão ajustadas para os teores foliares de cálcio na época R6, em g/kg (Y), no 1º e 2º cultivos, como variável dependente das doses de calcário aplicadas, em t/ha (X), do feijoeiro cultivado nos solos Glei pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A).

Solos	Cultivo	Equações	R ²
HGP	1º	$\hat{Y} = 20,2040 + 0,9815^{**}X$	0,91
	2º	$\hat{Y} = 17,2591 + 0,4927^{**}X$	0,91
HO	1º	$\hat{Y} = 12,7859 + 13,3628^{*}X^{1/2} - 2,1987^{*}X$	0,76
	2º	$\hat{Y} = 14,3441 + 5,2055^{*}X^{1/2} - 0,9518^{*}X$	0,76
HGH	1º	$\hat{Y} = 19,9298 + 1,064^{*}X - 0,0322^{*}X^2$	0,76
	2º	$\hat{Y} = 10,1525 + 0,4406^{**}X$	0,98
A	1º	$\hat{Y} = 24,9058 + 2,1601^{**}X - 0,0709^{*}X^2$	0,98
	2º	-	-

- Não houve ajuste, **, * Significativo a 1 e 5% respectivamente.

QUADRO 3 - Equações de regressão ajustadas para os teores foliares de magnésio na época R6, em g/kg (Y), no 1º e 2º cultivos, como variável dependente das doses de calcário aplicadas, em t/ha (X), do feijoeiro cultivado nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A).

Solos	Cultivo	Equações	R ²
HGP	1º	$\hat{Y} = 2,5804 + 0,7373^{**}X - 0,0216^{**}X^2$	0,94
	2º	$\hat{Y} = 1,9878 + 0,9247^{**}X - 0,0279^{**}X^2$	0,98
HO	1º	$\hat{Y} = 1,4145 + 4,5743^{**}X^{1/2} - 0,4374^{*}X$	0,97
	2º	$\hat{Y} = 2,2133 + 1,9898^{*}X^{1/2} - 0,1205X$	0,97
HGH	1º	$\hat{Y} = 6,6989 + 0,4502^{*}X - 0,0087X^2$	0,81
	2º	$\hat{Y} = 1,9975 + 0,5291^{**}X - 0,0089^{**}X^2$	0,99
A	1º	$\hat{Y} = 2,6496 + 0,6731^{**}X - 0,0209^{*}X^2$	0,98
	2º	$\hat{Y} = 3,8755 + 0,4332^{**}X - 0,0193^{**}X^2$	0,97

** , * , Significativo a 1 e 5 % respectivamente.

QUADRO 4 - Níveis críticos de Ca e Mg estimados nas folhas do feijoeiro, correspondentes a 90% da produção máxima de grãos, no primeiro (1^o) e segundo (2^o) cultivos, nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A).

Solos	Cultivo	Níveis Críticos (g/kg)	
		Ca	Mg
HGP	1 ^o	33,36	8,58
	2 ^o	19,07	5,02
HO	1 ^o	31,65	9,44
	2 ^o	21,07	7,56
HGH	1 ^o	26,78	9,97
	2 ^o	12,99	5,04
A	1 ^o	33,34	5,30
	2 ^o	-	4,97

- Não houve ajuste

7.3.3 Acúmulo total de Ca, Mg, K e Mn na parte aérea

Os dados de acumulação total (1^o e 2^o cultivos) pela parte aérea (hastes + folhas + grãos) do feijoeiro em Ca, Mg, K e Mn no final do ciclo (R9) foram relacionados com as doses de calcário aplicadas nos solos de várzea estudados, cujas equações de regressão e os comportamentos obtidos são apresentados na Figura 1.

O acúmulo de um nutriente pela planta é função da produção de matéria seca e do seu teor no tecido vegetal. Observa-se pela Figura 1 que o Ca e o Mg apresentaram comportamentos semelhantes, aumentando suas acumulações com o incremento das doses de calcário, com um ajuste quadrático ou raiz quadrática para os solos estudados. Este fato até certo

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

ponto já era esperado, visto que além do calcário dolomítico ser fonte de ambos os nutrientes e sua aplicação promoveu a mesma tendência de ajuste para a produção de matéria seca de grãos (Figura 1 Capítulo III), e para os teores dos nutrientes nos tecidos (Quadro 1), embora, neste quadro, os teores apresentados são para as folhas na época do florescimento.

Tanto a acumulação do K quanto a de Mn, a exceção deste último para os solos HO e HGH, apresentaram comportamento semelhantes ou seja, o aumento das doses de calcário promoveu uma diminuição da acumulação destes nutrientes pela planta (Figura 1). Como já discutido para teores foliares apresentados no Quadro 1, este comportamento foi devido à interação existente entre o Ca e o Mg aplicados com o calcário, com o K e o Mn: com aumento das doses de calcário ocorreu uma elevação na disponibilidade do Ca e Mg nos solos (Quadros 2 e 3, Capítulo III), promovendo uma redução na absorção e acumulação do K e do Mn, pelo processo denominado de inibição competitiva (Malavolta, 1980). Para o Mn, associado à inibição competitiva, a redução na sua absorção e acumulação foi devido, também, à elevação do pH dos solos com as doses de calcário, promovendo menor disponibilidade do micronutriente (Quadros 2 e 3, capítulo III).

Como já discutido, devido ao elevado poder tampão dos solos orgânicos, as doses de calcário para correção da acidez são elevadas. Segundo Quaggio et al. (1987), nesses solos, a calagem deve ser feita para elevar V a 50-60%, evitando-se desequilíbrios nutricionais entre o Ca e o Mg com o K e deficiência de micronutrientes. O comportamento do K e do Mn (Figura 1) confirma claramente este efeito.

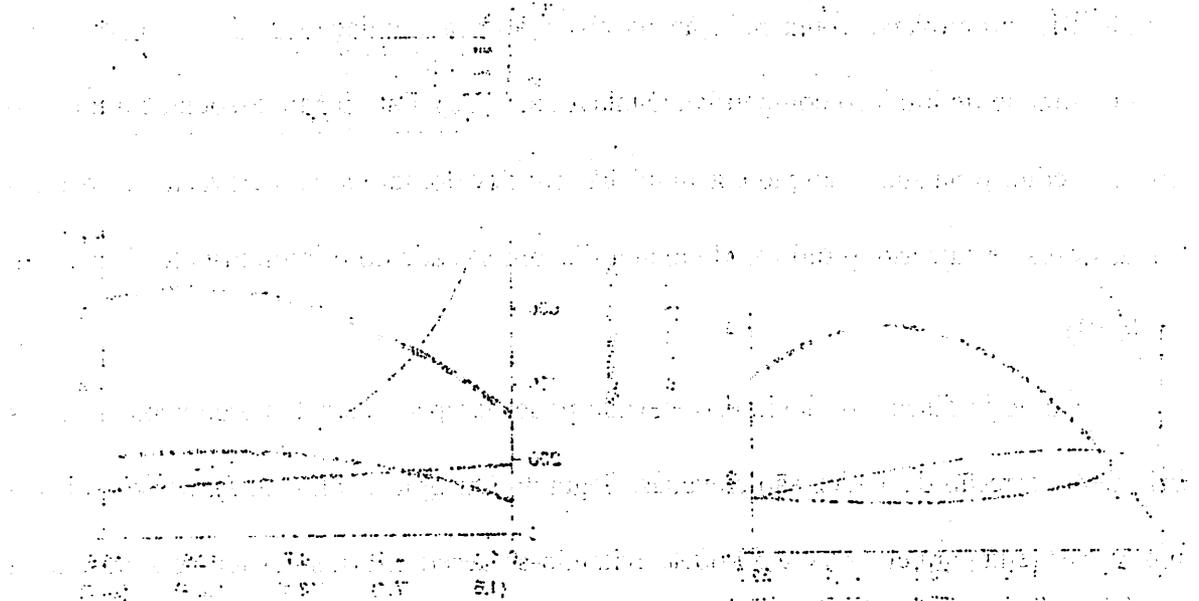
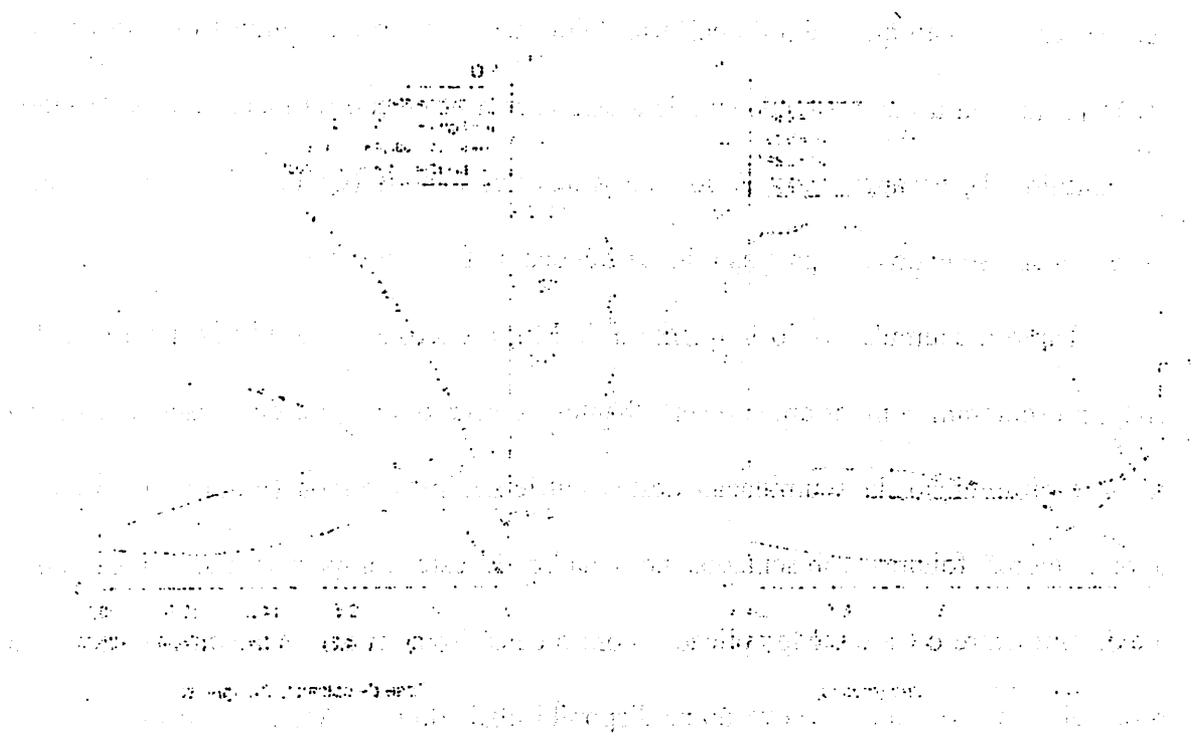
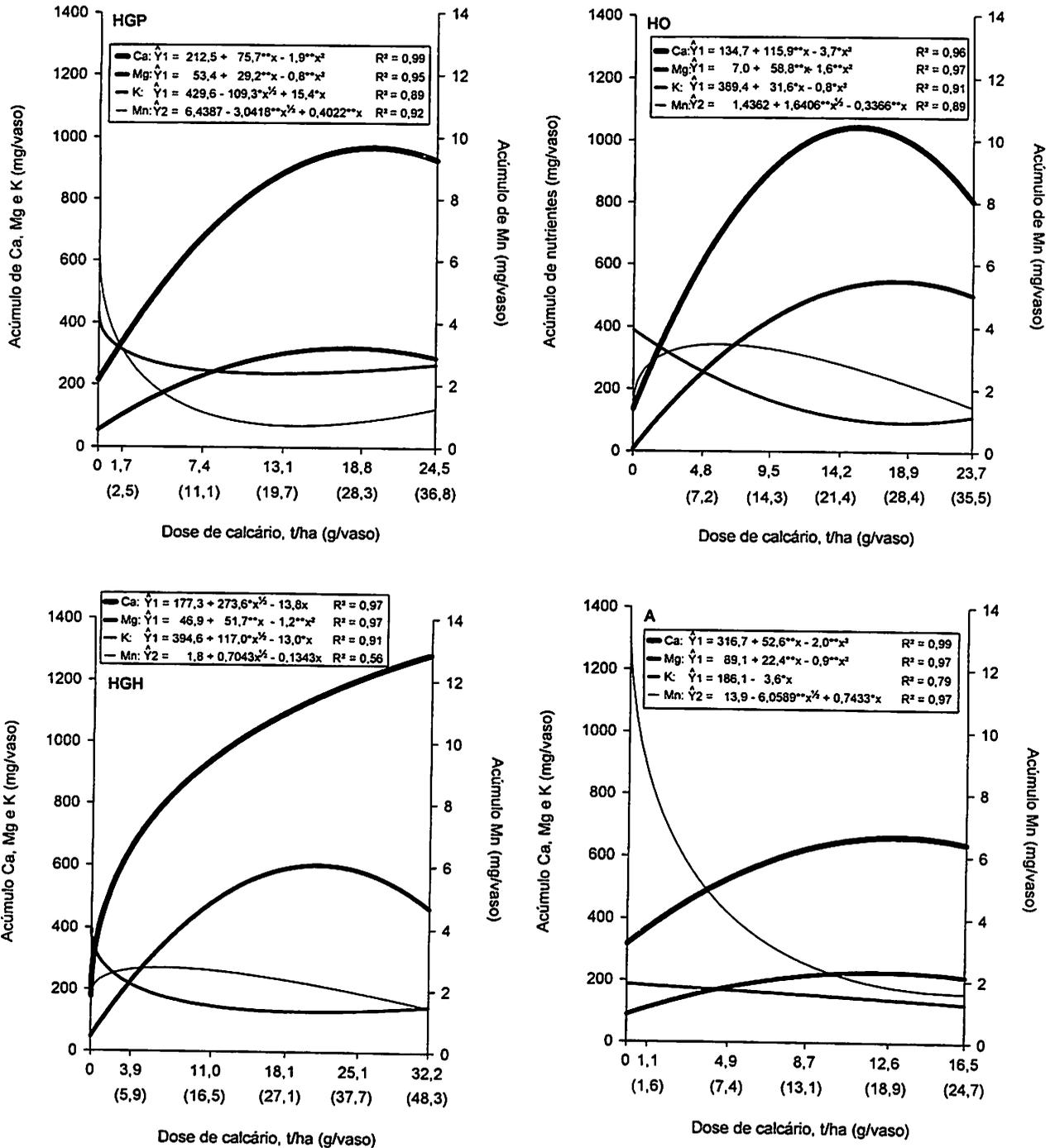


Figure 1: Comparison of two data series over time.

The graph shows two data series over a period of 100 units of time. The first series starts at 0 and increases to approximately 80. The second series starts at 100 and decreases to approximately 20. The two series appear to be complementary, with their sum remaining constant at 100.



******, ***** Significativo a 1 e 5% respectivamente.

FIGURA 1. Acúmulo total de Ca, Mg, K e Mn na matéria seca da parte aérea total, em função das doses de calcário aplicadas nos solos Glei Pouco Húmico (HGP), Orgânico (HO), Glei Húmico (HGH) e Aluvial (A).

7.4 CONCLUSÕES

- 1) A calagem nos solos de várzea é essencial para o fornecimento de Ca e Mg como nutrientes para o feijoeiro e com a elevação do pH, promover a neutralização da toxicidade de Al e Mn.
- 2) Nestes solos, a calagem deve ser feita visando elevar a saturação por bases real a 50%, evitando-se desequilíbrios nutricionais e possíveis deficiências de micronutrientes.

7.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M.J.B. de; ABREU, A. de F.B.; RAMALHO, M.P. **Recomendações para a cultura do feijoeiro em Minas Gerais**. Lavras: ESAL/Coordenadoria de Extensão. 1992. 12p. (Circular, 6).
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª Aproximação**. Lavras, 1989. 159p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos cerrados. **Relatório Técnico Anual, 1980-1981**. Planaltina, 1982. p.83-86.
- FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P. de; DUTRA, L.G. Limitações químicas dos solos de cerrado e de várzeas. **Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF-APA, 1996. p.8-11 (EMBRAPA-CNPAF. Documento, 65).
- FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; ENVANGELISTA, A.R.; GUEDES, G.A.A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da Região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.87-94, jun./abr.1995.
- FAQUIN, V.; VALE, F.R. Toxidez de alumínio e de manganês. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.15, n.170, p.28-38, 1991.
- JARREL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, New York, v.34, p. 197-224, 1981.

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- McLEAN, E.O.; BROWN, J.R. Crop response to line in the midwester × united state. In: ADANS, F. **Soil acidity and liming**, Madison: ASA/CSSA/SSA, 1984. p.267-304.
- MIRANDA, L.N. Resposta da sucessão soja-trigo a doses e modo de aplicação de calcário em solo Glei Pouco Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.75-82, jun./abr. 1993.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; BATAGLIA, O.C. Calagem para rotação feijão-milho verde em solo orgânico do vale do Rio Ribeira de Iaquape (SP). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.9,n.3, p.256-261, set./dez. 1985.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; YANAI, K. Resposta da abobrinha italiana a doses de calcários com diferentes teores de magnésio em solo orgânico do Vale do Ribeira-SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.11, n.2, p.167-173, maio/ago. 1987.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. FURLANI, A.M.C. (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. p. 353-416. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, N.J. de O. (coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. 786p.
- VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G. .A. de .A. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras: ESAL/FAEPE. 171p. 1993.