CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE EM SOLOS BRASILEIROS

HUBERTO JOSÉ KLIEMANN

Orientador: Dr. EURÍPEDES MALAVOLTA

**Tese apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia: Área de
Concentração: Solos e Nutrição
de Plantas.**

**PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março - 1987**

Aos meus pais,

ERVINO ZENO e HILDA

AGRADEÇO

À Nice Helena, minha esposa

e aos nossos filhos

Marco Antônio

Teresa Cristina e

Paulo Humberto

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Eurípedes Malavolta, Professor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) e pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) pela orientação, pelos ensinamentos e pela amizade.

À Universidade Federal de Goiás (UFG), pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) e Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) pela oportunidade de realização do Curso de Pós-Graduação e desta pesquisa.

Ao Convênio FEAQ/FINEP pelo suporte financeiro desta pesquisa.

Ao Convênio FEALQ/ALLIED CORPORATION pelo suporte financeiro desta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro desta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos de Doutorado.

Aos Professores Manoel Passos de Castro e Lázaro José Chaves que me substituíram nas minhas funções durante o período de afastamento da UFG.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Arroz, Feijão (CNPAF-EMBRAPA), na pessoa do Dr. Francisco P. Zimmermann pelo suporte estatístico e processamento de parte dos dados desta pesquisa.

Ao Dr. Sebastião A. de Oliveira, Professor da UNB-DF, pela cessão de "Software" para processamento dos dados desta pesquisa e, sobretudo, pelos ensinamentos, pelo coleguismo e pela amizade.

Ao Dr. Takashi Muraoka, pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP) pelas sugestões na condução de parte da pesquisa referente ao uso do enxofre radioativo (^{35}S) e pelo uso do laboratório da Seção de Fertilidade do Solo.

.v.

Ao Dr. Virgílio F. Nascimento Fº, pesquisador do Centro de Energia Nuclear, na Agricultura (CENA-USP) pelas sugestões e uso do Laboratório de Radioquímica.

Às Senhoritas Maria Lígia Malavolta e Cleusa Pereira Cabral pelo auxílio no Laboratório da Seção de Nutrição de Plantas do CENA-USP e pela amizade.

Aos mestres do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela formação e amizade.

ÍNDICE

Página

LISTA DE TABELAS.....	
LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE APÊNDICE.....	
RESUMO.....	
SUMMARY.....	
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Formas de enxofre nas rochas e nos solos	4
2.1.1. Enxofre total nas rochas.....	4
2.1.2. Enxofre total nos solos e rela- ções C/N/S.....	5
2.1.3. Enxofre orgânico nos solos.....	7
2.1.4. Formas de S inorgânico nos solos.	10
2.2. Transformações do enxofre nos solos.....	12
2.2.1. Mineralização do enxofre	12
2.2.2. Imobilização do $S-SO_4^-$ inorgânico.	14
2.2.3. Oxidação do enxofre no solo.....	15
2.2.4. Redução do enxofre no solo.....	17
2.2.5. Condições ambientais e manejo dos solos que afetam a mineralização do enxofre nos solos.....	18
2.2.6. Migração do enxofre-sulfato no perfil do solo.....	22

2.3. Avaliação da disponibilidade de enxofre nos solos.....	28
2.3.1. Deficiências e respostas ao enxofre.....	28
2.3.2. Avaliação da disponibilidade de enxofre no solo.....	36
2.3.3. Avaliação do potencial de mineralização de nitrogênio e enxofre dos solos por modelos matemáticos.....	46
2.4. Análise de tecido para avaliação do estado nutricional de enxofre em plantas.	50
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	56
3.1. Solos - caracterização física e química de rotina.....	56
3.2. Determinação do teor de S total nas amostras de terra.....	57
3.2.1. Digestão das amostras da terra..	57
3.2.2. Determinação analítica do S total nos solos.....	59
3.3. Determinação do $S-SO_4^{=}$ disponível nos solos.....	59
3.3.1. Acetato de amônio 0,5N em ácido acético 0,25N.....	60
3.3.2. $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N.....	61

3.3.3. Cloreto de cálcio a 0,15%.....	61
3.3.4. HCl 0,05M.....	62
3.4. Experimento de casa-de-vegetação.....	62
3.4.1. Quantidade de terra usada por va so.....	63
3.4.2. Calagem e gesso.....	63
3.4.3. Incubação.....	64
3.4.4. Adubação e cultivo das terras...	64
3.4.5. Plantio e colheita da planta-tes te.....	66
3.4.6. Análises de plantas.....	66
3.4.7. Coleta de amostras de terra após os cultivos.....	67
3.5. Experimento de laboratório: mineraliza- ção aeróbia de enxofre ($S-SO_4^{--}$) e nitro- gênio ($N-NH_4^+ + NO_3^-$), por técnicas de in- cubação aberta.....	67
3.5.1. Solos e técnicas analíticas usa- das.....	67
3.5.2. Colunas de incubação e lixivia- ção.....	68
3.5.3. Adubação das amostras de terra e lixiviação do enxofre e nítrogê- nio mineral.....	68

3.5.4. Mineralização aeróbia de $S-SO_4^-$ em amostras de terras marcadas com enxofre radioativo (^{35}S)..	69
3.6. Delineamento experimental e avaliação estatística.....	71
3.6.1. Experimento de casa-de-vegeta- ção.....	71
3.6.2. Experimento de laboratório....	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
4.1. Resultados de análise de terra.....	78
4.1.1. Teores de carbono, nitrogênio e enxofre totais em amostras de terras não tratadas.....	78
4.1.2. Teores de carbono, pH, P, Ca, Mg, e H+Al nas amostras subme- tidas a incubação e a dois cul- tivos com milho na ausência e presença de calagem.....	80
4.1.3. Evolução dos teores de enxo- fre ($S-SO_4^-$) disponível em fun- ção da incubação, dos culti- vos sem e com calagem.....	85
4.1.4. Problemas de extração e deter- minação analítica de $S-SO_4^-$ dos	

solos relacionados com o desempenho dos extratores.....	91
4.2. Mineralização de nitrogênio e enxofre por incubação aberta, na ausência e presença de calagem.....	94
4.3. Mineralização aeróbica de $S-SO_4^-$; efeitos de incubação aberta, na ausência e presença de calagem sobre a atividade específica de ^{35}S	102
4.4. Efeitos da calagem, gesso e cultivos na produção de matéria seca e absorção de enxofre.....	106
4.5. Curvas de resposta ao gesso na ausência e presença de calagem, em dois cultivos sucessivos dos solos.....	112
4.5.1. Doses de gesso versus produção de matéria seca da parte aérea do milho.....	112
4.5.2. Doses de gesso versus absorção de enxofre pela parte aérea do milho.....	115
4.6. Teores de enxofre total na parte aérea e razões N/S e P/S versus produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho.....	122

4.6.1. Evolução dos teores de nitrogênio, fósforo e enxofre em função da calagem, do gesso e dos cultivos.	122
4.6.2. Enxofre total e razões N/S e P/S na parte aérea do milho versus produção de matéria seca e absorção de enxofre.....	124
4.7. Relações de carbono, enxofre total, razão C/S e potenciais de mineralização de enxofre dos solos entre si e com a absorção de enxofre pelo milho.....	136
4.7.1. Relação da absorção de enxofre pelo milho versus teores de carbono nos solos submetidos a dois cultivos na ausência e presença de calagem.....	139
4.7.2. Relação entre potenciais de mineralização de enxofre dos solos e absorção relativa de enxofre pelo milho.....	141
4.8. Correlação e calibração de análises de enxofre-sulfato disponível nos solos e determinação dos níveis críticos.....	144

4.8.1. Correlação do $S-SO_4^-$ disponível nos solos versus absorção de enxofre.....	145
4.8.2. Calibração de métodos de análises de enxofre-sulfato disponível e níveis críticos nos solos.....	157
4.8.3. Absorção relativa de enxofre pelo milho versus $S-SO_4^-$ estimado por extratores químicos....	165
4.9. Relações conjuntas de análises de solos e de plantas com a produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho.....	168
4.9.1. Relações das análises de solos e de plantas nos solos com teores de carbono maiores do que 1,2% com a produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho.....	169
4.9.2. Relações das análises de solos e de plantas nos solos com teores de carbono maiores do que 1,2% com a produção de matéria seca e absorção de enxofre....	171

.xiii.

	Página
4.10. Considerações finais.....	177
5. CONCLUSÕES.....	180
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	184
7. APÊNDICE.....	222

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
3.1.	Características gerais das amostras de terra utilizadas nos experimentos (médias de 3 repetições).....	58
4.1.	Teores de enxofre total dos solos obtidos por digestão nitroperclórica e determinação gravimétrica.....	79
4.2.	Resultados de análises de amostras de terra coletadas do nível de 40 ppm S (médias de 3 repetições).....	81
4.2.	Resultados de análises de amostras de terra coletadas do nível de 40 ppm S (médias de 3 repetições).....	82
4.3.	Parâmetros das curvas de calibração de $S-SO_4$ para os extratores NH_4OAc 0,5N, em ácido acético 0,25N, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N, $CaCl_2$ 0,15% e HCl 0,05M.....	93

TABELA

Página

4.4.	Matriz de coeficientes de correlação linear simples entre absorção de enxofre versus extratores de $S-SO_4^{=}$ disponível nos solos, entre produção de matéria seca versus extratores e entre os próprios extratores.....	95
4.5.	Parâmetros das equações hiperbólicas e tempos necessários (semanas) para estimar as metades do enxofre ($1/2S_0$) e do nitrogênio ($1/2N_0$) potencialmente mineralizáveis por incubação aberta na ausência e presença de calagem.....	99
4.6.	Quadro de análise de variância conjunta da produção de matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre.	
4.7.	Quadro de médias de produção de matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre, comparando-se os efeitos de solos, cultivos, calagem e gessagem.....	111

TABELA

Página

4.8.	Curvas de resposta da produção de matéria seca (g/vaso) versus doses de gesso (0, 20 e 40 ppm S), na ausência e presença de calagem e em dois cultivos dos solos, de forma individual e conjunta.....	113
4.9.	Curvas de respostas de absorção de enxofre (mg S/vaso) versus doses de gesso (0, 20 e 40 ppm S), na ausência e presença de calagem e em dois cultivos dos solos, de forma individual e conjunta.....	116
4.10.	Teores de nitrogênio, fósforo e enxofre na parte aérea do milho nos dois cultivos (médias de 3 repetições).....	123
4.11.	Coeficientes de determinação (R^2 e r^2) da produção de matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre versus porcentagem de enxofre total e razões N/S e P/S, em dois cultivos de milho.....	125

TABELA

Página

4.12.	Matriz de correlação linear simples de parâmetros de solos entre si e entre a absorção de enxofre pelo milho.....	137
4.13.	Equações de regressão descritivas da relação entre a absorção de enxofre pelo enxofre versus $S-SO_4$ extraível por três extractores e respectivos níveis críticos que estimam 90% da absorção relativa máxima (n = 72).....	167
4.14.	Coeficientes de regressão linear múltipla das relações de análises de solos e de plantas com a produção de matéria seca de milho (g/vaso) e absorção de enxofre (mg/vaso), obtidos por regressão "stepwise"..	170

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
4.1.1. Evolução dos teores de enxofre disponível ($S-SO_4^-$), extraído por $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N em função da ausência e presença de calagem e doses de gesso de 0, 20 e 40 ppm de S, em amostras colhidas após incubação (A), após o primeiro cultivo (B) e após o segundo cultivo (C).....	86
4.1.2. Evolução dos teores de enxofre disponível ($S-SO_4^-$), extraído por NH_4HOAc 0,5 N em ácido acético 0,25N, em função da ausência e presença de calagem e das doses de gesso de 0, 20 e 40 ppm de S, em amostras colhidas após a adubação (A), após o primeiro cultivo (B) e após o segundo cultivo.....	87
4.1.3. Evolução dos teores de enxofre disponível ($S-SO_4^-$), extraído por $CaCl_2$ 0,15%, em função da ausência e presença de calagem e das doses de gesso de 0, 20	

FIGURA

Página

e 40 ppm de S, em amostras colhidas após a incubação (A), após o primeiro cultivo (B) e após o segundo cultivo (C)..

88

4.2. Efeitos da incubação aberta e da calagem nas quantidades acumuladas de enxofre ($S-SO_4^-$) e nitrogênio ($N-NH_4^+ + NO_3^-$) mineralizadas em função do tempo.....

97

4.3. Efeitos de incubação aberta e da calagem na atividade específica ^{35}S (cpm x 1000/ μg $S-SO_4^-$) nos lixiviados em KCl 0,01M em função do tempo.....

103

4.4. Produção de matéria seca de milho versus teores de enxofre total nas plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono e pelos cultivos.....

127

4.5. Absorção de enxofre pelo milho versus teores de enxofre total, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono e pelos cultivos... ..

129

FIGURA

Página

4.6.	Absorção de enxofre pelo milho versus razões N/S das plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono e pelos cultivos.....	132
4.7.	Absorção de enxofre pelo milho versus razões P/S nas plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono e pelos cultivos.....	135
4.8.	Absorção de enxofre (mg/vaso) pelo milho versus percentagem de carbono nos solos submetidos a dois cultivos na ausência e presença de calagem e no nível zero de enxofre.....	140
4.9.	Potenciais de mineralização (S_0), estimados pela equação hiperbólica (STANFORD & SMITH, 1972) versus absorção relativa de enxofre ($S^-/S_{20} \times 100$), na ausência e presença de calagem....	142

FIGURA

Página

- 4.10. Absorção de enxofre pelo milho versus $S-SO_4^{=}$ disponível via extrator $CaCl_2$ 0,15% referentes aos dois cultivos dos solos..... 149
- 4.11. Absorção de enxofre pelo milho versus $S-SO_4^{=}$ disponível via extrator NH_4-OAc 0,5N em ácido acético 0,25N referentes aos dois cultivos dos solos..... 151
- 4.12. Absorção de enxofre pelo milho versus $S-SO_4^{=}$, disponível via extrator $Ca(H_2PO_4)_2$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N, referentes aos dois cultivos dos solos..... 155
- 4.13. Produção relativa de matéria seca de milho versus $S-SO_4^{=}$ disponível extraído por $CaCl_2$ 0,15% nos dois cultivos dos solos..... 159
- 4.14. Produção relativa de matéria seca de milho versus $S-SO_4^{=}$, disponível extraído por NH_4OAc 0,5N em ácido acético 0,25N nos dois cultivos dos solos.... 161

FIGURA

Página

4.15.	Produção relativa de matéria seca de milho versus $S-SO_4^{=}$ disponível extraído por $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N nos solos nos dois cultivos dos solos.....	163
-------	--	-----

LISTA DE APÊNDICE

TABELA

Página

1	Resultados das análises de rotina de terra amostradas, após a incubação (A), após o primeiro cultivo (B) e após o segundo cultivo (C) (médias de 3 repetições).....	223
2	Produção de matéria seca da parte aérea do milho (g/vaso), em função da calagem e gessagem, com dois cultivos sucessivos.....	224
3	Teores totais de nitrogênio, fósforo e enxofre na parte aérea do milho, em função da calagem e da gessagem em dois cultivos sucessivos.....	225
4	Resultados das determinações de $S-SO_4$ disponível nas amostras de terra após a incubação, após o primeiro cultivo e após o segundo cultivo.....	226

TABELA

Página

5.1.	Efeitos da incubação aberta e da calagem na mineralização do enxofre dos solos ($S-SO_4^{=}$) em condições de microcolunas, submetidas à lixiviação periódica.....	228
5.2.	Efeitos da incubação aberta e da calagem na mineralização do nitrogênio dos solos ($NH_4^+ + NO_3^-$) em condições de microcolunas, submetidas à lixiviação periódica.....	229
6.1.	Valores de cpm /0,1 m (corrigidos para o tempo "zero" nos lixiviados em KCl 0,01M sob condições de incubação aberta, na ausência e presença de calagem.....	230
6.2.	Valores de atividade específica de ^{35}S nos lixiviados em KCl 0,01M sob condições de incubação aberta, na ausência e presença de calagem.....	231

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE EM SOLOS BRASILEIROS

Autor: HUBERTO JOSÉ KLIEMANN

Orientador: Prof. Dr. EURÍPEDES MALAVOLTA

RESUMO

Conduziu-se um experimento com amostras superficiais de 12 solos, provenientes dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás (Brasil), com teores de carbono variando de 0,50 a 3,03%, de enxofre total de 0,0104 a 0,0319% e de argila de 8 a 60%. Fez-se a avaliação de $S-SO_4^{=}$ disponível através de 4 extratores químicos, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ 500 ppm P em ácido acético 2,0N, NH_4OAc 0,5N em ácido acético 0,25N, $CaCl_2$ 0,15% e HCl 0,05M.

Realizou-se um ensaio biológico em casa-de-vegetação, com dois cultivos sucessivos. Usou-se um delineamento fatorial completo, em blocos casualizados por solo, com os tratamentos: 12 solos, 3 doses de gesso (0, 20 e 40 ppm de S), ausência e presença de calagem, 2 cultivos e 3 repetições e o milho (*Zea mays* L.) como planta-teste.

Inicialmente incubaram-se os solos na ausên

cia e presença de calagem e o enxofre nas doses indicadas; em sacos plásticos semi-abertos para evitar ambiente anaeróbico. Após 15 dias de incubação retiraram-se porções de terra para análises posteriores e transferiram-se 5 kg para vasos de cerâmica e acrescentaram os demais nutrientes. O primeiro cultivo, dos solos foi de 42 dias e o segundo de 48 dias. Após o primeiro retiraram-se novamente porções de terra para análises posteriores e removeram-se as raízes para o segundo cultivo com 4,5 kg de terra por vaso. Após o segundo cultivo, colheram-se novas porções de terra para análises posteriores.

Em laboratório conduziram-se dois experimentos de incubação aberta em colunas com 50 g de terra, na ausência e presença de calagem. Estabilizou-se a umidade das amostras de terra através de sucção a 60 cm de Hg. Nos dois experimentos submeteram-se, de duas em duas semanas, as colunas à lixiviação com solução de KCl 0,01M, retornando-as à tensão de umidade inicial. No primeiro experimento utilizaram-se os lixiviados para a determinação de NH_4^+ + NO_3^- e S-SO_4^- . No segundo experimento acrescentou-se enxofre radioativo (^{35}S , livre de carregador, na forma de $\text{H}_2^{35}\text{SO}_4$), com atividade inicial de $0,62134 \mu\text{Ci.g}^{-1}$ de terra no tempo "zero" (antes da primeira lixiviação).

Para a avaliação da disponibilidade do enxofre nos solos consideraram-se as variáveis independentes carbono, enxofre total, potenciais de mineralização de enxofre (S_0) e S-SO_4^- extraível dos solos, enxofre total e ra-

zões N/S e P/S das plantas e as variáveis dependentes produção de matéria seca e absorção de enxofre (absolutas e relativas). Na avaliação individual das variáveis independentes utilizaram-se técnicas estatísticas usuais e na avaliação conjunta a regressão linear múltipla. Determinaram-se os potenciais de mineralização de nitrogênio e enxofre com auxílio de algoritmo computacional iterativo.

Os resultados experimentais permitam as seguintes conclusões:

Os solos arenosos e de baixos teores de carbono possuem pequenos potenciais de mineralização de nitrogênio e enxofre nativos, sendo afetados de forma não significativa pela calagem. Os solos argilosos e com mais altos teores de carbono tem potenciais de mineralização de nitrogênio e enxofre mais elevados, com efeitos significativos da calagem.

A meia-vida (tempo necessário para mineralizar a metade do nitrogênio e do enxofre potencialmente mineralizáveis), foi modificada pela calagem, não se verificando proporcionalidade na mineralização do nitrogênio e do enxofre.

A mineralização do nitrogênio e do enxofre e o decaimento da atividade específica de ^{35}S estabilizaram-se por volta da oitava semana de incubação aberta, tanto na ausência quanto na presença de calagem.

Os teores de carbono e os potenciais de mineralização do enxofre dos solos são estreitamente correla

cionados com a absorção de enxofre pelo milho, na presença de calagem. Não houve correlação significativa entre os potenciais de mineralização de enxofre no primeiro cultivo e os teores de carbono nos solos no segundo cultivo versus absorção de enxofre na ausência de calagem, mostrando que a acidez impede a mineralização e a dessorção do enxofre nativo dos solos. O enxofre total dos solos em nenhum caso apresentou correlação com a absorção de enxofre dos solos.

Dentre os extratores estudados, o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N demonstrou o melhor desempenho tanto em termos operacionais de laboratório, quando na correlação com a produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho. O extrator HCl 0,01 M revelou-se totalmente inadequado por não se terem obtido extratos límpidos para a determinação turbidimétrica do $\text{S-SO}_4^{=}$.

Os extratores NH_4OAc 0,5N em ácido acético 0,25N e o CaCl_2 0,15% correlacionaram-se significativamente com a absorção de enxofre, mas apresentam o inconveniente da necessidade de determinação imediata do $\text{S-SO}_4^{=}$ dos extratos ou de seu armazenamento em refrigerador para evitar desenvolvimento de fungos.

Os níveis críticos de $\text{S-SO}_4^{=}$ nos solos para a obtenção de 90% da produção máxima relativa de matéria seca foram: (a) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N: 11 ppm; (b) NH_4OAc 0,5N em ácido acético 0,25N a pH 5,0: 17 ppm; (c) CaCl_2 0,15%: 19 ppm.

Os níveis críticos de enxofre total na parte aérea do milho versus produção de matéria seca e absorção de enxofre foram de 0,14% e 0,20%, respectivamente, no primeiro cultivo dos solos arenosos; no segundo cultivo determinou-se o nível crítico de 0,14% para ambos os casos. No primeiro cultivo dos solos argilosos (com teores de carbono superiores a 1,2%), os coeficientes de regressão não significativos, não permitiram, assim, estabelecer os níveis críticos; no segundo cultivo, os níveis de enxofre total nas plantas foram de 0,20% para a produção de matéria e de 0,30% para a absorção de enxofre.

A razão N/S da parte aérea do milho que caracteriza a deficiência de enxofre está por volta de 10 a 12/1, relacionada com a absorção de enxofre. A correlação foi altamente significativa no primeiro e no segundo cultivos.

A razão P/S na parte aérea do milho não apresentou correlação significativa com a absorção de enxofre no primeiro cultivo. Na análise conjunta dos dois cultivos e no segundo isoladamente as correlações com a absorção de enxofre foram significativas. Por causa da maior dispersão dos pontos não se pode estabelecer precisamente a razão P/S que caracteriza a deficiência de enxofre nas plantas. Tentativamente, propõe-se a razão P/S 1/1 como valor crítico.

Na avaliação conjunta de análises de solos e de plantas versus produção de matéria seca por regressão

linear múltipla, contribuíram, significativamente os seguintes parâmetros:

- a) solos arenosos (teores de carbono menores que 1,2%) - enxofre total e razão N/S das plantas e $S-SO_4^-$ extraível dos solos;
- b) solos argilosos (teores de carbono maiores que 1,2%) - enxofre total e razão N/S das plantas, pH, Ca, Mg, H+Al e carbono dos solos;

e versus absorção de enxofre:

- a) solos arenosos - enxofre total e razão N/S das plantas, $S-SO_4^-$ extraível e pH dos solos;
- b) solos argilosos - enxofre total e razões N/S e P/S das plantas, $S-SO_4^-$ extraível, pH, H+Al e carbono dos solos.

Dentre os parâmetros estudados, a razão N/S revelou-se como o mais preciso para diagnosticar a deficiência nutricional de enxofre para as plantas.

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE SULPHUR AVAILABILITY IN BRAZILIAN SOILS

Author: HUBERTO JOSÉ KLIEMANN

Adviser: EURÍPEDES MALAVOLTA

SUMMARY

In the experiments dealt with in this contribution surface samples (0 - 20 cm) of 12 soils from the States of São Paulo, Minas Gerais and Goiás (Brazil) were used. Carbon (C) content varied from 0.50 to 3.03%, and total sulphur (S) was in the range of 0.0104 to 0.0319%. The clay content varied from 8 to 60%.

The availability of S was measured by determining the SO_4 -S content as extracted by the following solutions: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ · H_2O - 500 ppm in 2.0N acetic acid, 0.5N ammonium acetate in 0.25N acetic acid 0.15% CaCl_2 and 0.05M HCl.

Corn (*Zea mays* L.) was grown in the greenhouse in two successive crops in the presence initially of three rates of S applied as gypsum, namely 0, 20 and 40

ppm, both in the presence and absence of lime. The experimental design was a complete factorial with 3 replicates.

The twelve soils were previously incubated with gypsum and lime (or no lime). After 15 days samples were withdrawn for analysis. Five kg portions of soil were placed in earthenware pots wherein a basal treatment of macro and micronutrients was given throughout. The first cropping period was 42 days and the second one lasted 48 days. Before starting the second growing period samples were taken for analysis and the root system of the corn plants was removed. After the second cropping new samples were taken for analysis.

Two open incubation experiments were carried out in the laboratory using columns containing 50 g of soil. The moisture content of the soil was previously stabilized by suction at 60 cm Hg. In both trials the soil columns were leached every other week with 0.01M KCl; after the treatment moisture tension was returned to the original one. In the first experiment the leachate was used for the determination of NH_4^+ + NO_3^- and $\text{SO}_4\text{-S}$. In the second incubation trial carrier free $\text{H}_2\text{S}^{35}\text{O}_4$ ($0.62 \mu\text{Ci.g}^{-1}$ soil) was applied at zero time.

The availability of S in soils under study was assessed by using the following variables: total C and S; mineralization potential; extractable $\text{SO}_4\text{-S}$, N/S and P/S ratio in the plant material, dry matter yield and

absolute and relative sulphur uptake. Analysis both of variance and regression were used. The mineralization potentials of N and S were estimated by using hyperbolic equations.

The experimental results allowed for the following conclusions to be drawn.

Sandy soils low in C possess small mineralization potentials of N and S being unaffected by liming. The reverse is true in the case of clayey soils with higher C content.

The half life of the mineralization both of N and S was modified by liming; there was not, however, a proportionality factor between the mineralization rates of the two components.

The mineralization of native N and S, as well as the decay of the specific activity of the added ^{35}S tended to level off in the 8th week of incubation, no effect of liming being evident.

S uptake by the corn plant in the presence of lime is strongly correlated with C content of the soils, and with the mineralization potential of the soil sulphur. There was no significant correlation between S mineralization potential in the first cropping and the C content in the second one against sulphur uptake in the absence of liming. Total soil S in no case showed significant correlation with sulphur taken up by the plants.

Among the extracting solutions calcium phosphate in HAc provided the best performance both in operational terms, and with respect to correlations with dry matter yield and S uptake. Dilute HCl proved to be thoroughly inadequate due to the impossibility of giving clear uncolored extracts suitable for the turbidimetric determination of SO_4 -S thereof.

Both NH_4OAc and dilute calcium chloride gave good correlation with S absorption; they have, however, the inconvenience of the need for determining the SO_4 -S in the extracts shortly after their obtention or after being kept under refrigeration to avoid fungal growth.

The critical levels (concentration required for 90% of the relative yield) were, in ppm of SO_4 -S:

(a) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (500 ppm P) in 2.0N acetic acid - 11; (b) NH_4OAc 0.5N in 0.25 acetic acid - 17; (c) CaCl_2 0.15% - 19.

In sandy soils the critical level for total S in the tops of the corn plants were 0.14%, and 0.20%, respectively for dry matter yield and S uptake, in the case of the first cropping. For the second cropping it was 0.14% S. In the case of the first cropping in clayey soils ($\text{C} > 1.2\%$), the correlation coefficients were not significant; in the second cropping, however, the levels were found to be 0.20% for dry matter yield, and 0.30% for S uptake.

Highly significant correlations were determined, both in the first and in the second cropping

when the N/S ratio in the tops was plotted against S uptake: sulphur deficiency is associated with a ratio of 10-12/1.

In the first cropping the P/S ratio in the tops did not show significant correlation with S uptake. When data from the two croppings were analysed jointly, as well as in the case of the second one, significant correlation between P/S and S absorption were found. Tentatively it is suggested that the 1/1 ratio is used as a critical value.

In the joint evaluation of soil and plant analyses against dry matter yield, through multiple linear regression, a significant contribution was given by the following parameters:

- (a) sandy soils ($C < 1.2\%$) - total C and N/S in the plant and soil SO_4 -S;
- (b) clayey soils ($C > 1.2\%$) - total S and N/S ratio in the plants, pH, Ca, Mg, H+Al and C in the soil;

when S uptake is the dependent variable the following was found:

- (a) sandy soils - total S and N/S ratio in the plant, soil SO_4 -S and pH;
- (b) clayey soils - total S, N/S and P/S ratios in the plant; SO_4 -S, pH, H+Al, and C in the soil.

Among all parameters the N/S ratio proved to be the most reliable for the evaluation of the nutritional status of the plants with respect to sulphur.

1. INTRODUÇÃO

A essencialidade do enxofre é reconhecida desde os primeiros dias da nutrição mineral de plantas. No entanto, não tem causado maiores preocupações, porque se usaram formulações com baixas concentrações de N, P e K e relativamente altas de enxofre, como ânion acompanhante, em forma de sulfato. Com o advento dos concentrados de N e P sem enxofre, da correção dos solos e do aumento geral de produtividade agropecuária, a exaustão do enxofre nativo dos solos, vem se manifestando em praticamente todas as partes do mundo, incluindo o Brasil.

Embora, não sejam muito recentes as constatações de deficiência de enxofre nos solos agrícolas, o assunto não tem despertado maior interesse entre os pesquisadores. Os trabalhos relacionados à predição das necessidades de enxofre na literatura mundial e brasileira são bastante escassos. As pesquisas referentes a métodos de extração de enxofre disponível nos solos tem mostrado avanços pouco significativos devido a dificuldades analíticas e o caráter biodinâmico do enxofre-sulfato nos solos. No Brasil, as pesquisas sobre disponibilidade do enxofre nativo nos solos e respostas à adubação sulfatada tiveram certo impulso com estudos de lixiviação de $S-SO_4^-$ e bases acompanhantes e desenvolvimento em profundidade do sistema ra-

dicular de culturas econômicas em solos sob vegetação de cerrado, visando o aumento da resistência à seca.

Por outro lado com a opção da indústria mundial de fertilizantes pela produção de nitrogenados (uréia) e fosfatados (superfosfato triplo e amônio-fosfatos), é imperativo que se avalie o potencial de fornecimento de enxofre dos solos, determinando-se a real necessidade de se complementar a adubação com alguma fonte de enxofre.

Desenvolveu-se este trabalho para testar extratores químicos de enxofre disponível, a resposta à adubação sulfatada, estimar o potencial de mineralização do nitrogênio e do enxofre orgânico, na ausência e presença de calagem em solos dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás. Estes parâmetros são correlacionados com o nível de enxofre na planta teste (milho), com as razões N/S e P/S, com a produção de matéria seca e absorção de enxofre em condições de casa de vegetação. As informações obtidas servirão de subsídios para a obtenção do nível crítico de enxofre disponível nos solos em condições de campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O recente interesse pelo estudo do enxofre nos solos parte de dois enfoques básicos: o ambiental e o agrícola.

A grande expansão industrial que se constata em várias partes do mundo provoca sérias perturbações à ecologia, com a emissão de gases sulfurosos, chuvas ácidas e consequente degradação do meio ambiente. De acordo com BETTANY & STEWART (1983), em regiões com severa poluição industrial, os teores de enxofre total nos solos podem ser superiores a 50.000 ppm

A agricultura também vem mostrando significativa expansão através do aumento da produtividade e da ocupação de novas terras, em geral de baixa fertilidade. Em ambos os casos a utilização de maiores quantidades de fertilizantes se tornou imperativa. Inicialmente, pensou-se que seria mais interessante utilização de concentrados de N, P e K, devido ao barateamento do transporte por unidade de nutriente. Logo se verificou o equívoco, com a depleção do enxofre nativo dos solos de baixa fertilidade, como atestam COLEMANN (1966) e MALAVOLTA (1980).

Nas novas fronteiras agrícolas brasileiras, a deficiência de enxofre nos solos de baixa fertilida

de (cerrados e florestas tropicais e equatoriais) começa a manifestar-se a partir do segundo ou terceiro ano de cultivo e uso de fertilizantes N, P e K sem enxofre. Experimentos conduzidos no Instituto de Pesquisas IRI (Matão, SP) demonstraram que a adubação nitrogenada, sem enxofre induziu a deficiência de enxofre em pastagens (McCLUNG & QUINN, 1959). Mais tarde em solos de várzeas do Baixo Amazonas, WANG et alii (1976a, b) observaram que nos primeiros cultivos N e P são mais importantes, porém, com 3 safras sucessivas de arroz inundado e emprego de formulações N P K sem enxofre os rendimentos sofreram decréscimos da ordem de 40 a 60%. De um modo geral a indução da deficiência de enxofre é mais notável em solos arenosos (COLEMAN, 1966).

2.1. FORMAS DE ENXOFRE NAS ROCHAS E NOS SOLOS

2.1.1. ENXOFRE TOTAL NAS ROCHAS

O enxofre ocorre em muitas formas nas rochas, por causa de sua valência que varia de -2 a +6, tendo-se os sulfitos e os sulfatos nos dois extremos. A crosta terrestre possui teores variáveis de 0,01 a 0,1% de enxofre total. Os silicatos geralmente apresentam menos de 0,01%, as rochas ácidas acima de 0,01%, as rochas básicas acima de 0,1%. As rochas sedimentares, pela sua densidade

de origem, apresentou ao redor de 0,02% nos arenitos; 0,13% nos calcários; e 0,22 nos argilitos, folhelhos e ardósias (RICKE, 1960).

A forma mais comum de enxofre nas rochas são os sulfetos de metais (ferro, chumbo, manganês, níquel, cobre, etc), contidos nas rochas plutônicas. À medida que estas rochas são intemperizadas, ocorre a oxidação dos sulfetos para sulfatos. Em regiões áridas são precipitados sais solúveis ou insolúveis ou então, novamente, reduzidas a sulfitos e sulfetos sob condições redutoras. Em regiões chuvosas, grande parte do enxofre é mineralizado a sulfato e perdido (lixiviado) pelas águas de drenagem, com destino final nos sedimentos marinhos.

2.1.2. ENXOFRE TOTAL NOS SOLOS E RELAÇÕES C/N/S

Os valores de enxofre total nos solos variam de 22 a 35.000 ppm. Em condições naturais, os valores mais altos são encontrados em regiões plantanosas, em solos com caráter tiomórfico. Em regiões industrializadas com severa poluição industrial, os teores de enxofre total nos solos podem ser superiores a 50.000 ppm (BETTANY & STEWART, 1983). Em regiões temperadas, os teores de S total declinam com o grau de intemperismo dos solos, com cerca de 540 ppm para os mollisols e 210 ppm para os alfisols (BLAIR,

1979). Em regiões tropicais é muito grande a variação. Na Nigéria BROMFIELD (1972) achou teores muito baixos de 38 a 52 ppm; nas Índias Ocidentais HAQUE & HAMSLEY (1973) encontraram teores variando de 110 a 510 ppm de S total. No Estado de São Paulo (Brasil), segundo MALAVOLTA (1950), os teores de S total nos solos variam de 70 a 960 partes por milhão por 100 g de solo, enquanto que em solos de cerrado (São Paulo e Goiás) os teores de S total variam de 36 a 247 ppm para os solos virgens e de 24 a 60 ppm de enxofre orgânico para os solos cultivados (McCLUNG et alii, 1959).

Os teores de enxofre total dos solos, à semelhança do nitrogênio, tem pouco valor interpretativo para o ciclo do enxofre e fertilidade do solo. Porém, as relações C/N e N/S dão uma idéia geral sobre os processos de formação do húmus dos solos de determinada região. As relações C/S e N/S nos solos eram tidas como tipicamente ao redor de 100/1 e 10/1. Porém, confrontando-se dados de várias partes do mundo, observaram-se variações significativas, em função do material de origem, processos de formação de solo e efeitos do clima. BETTANY & STEWART (1983), em revisão de literatura, constataram que a relação C/S varia de 60 a 270 e a relação N/S de 4 a 20. Dados de Mohr (1948), citado por MALAVOLTA (1950), mostram que nos solos do Rio Grande do Sul a relação C/S varia de 10 a 150 com valor médio de 30. Segundo WILLIAMS & STEINBERGS (1959) e HARWARD et

MOHR, W. O enxofre nas plantas e no solo. 1948. [datilografado].

alii (1962), quanto maior a acidez dos solos (como os podzols e solos de florestas), mais larga tende a ser a razão C/S.

O efeito do cultivo dos solos, de forma bastante generalizada faz aumentar as relações C/S e N/S (BETTANY & STEWART, 1983).

2.1.3. ENXOFRE ORGÂNICO NOS SOLOS

O enxofre orgânico na maioria dos solos é superior a 90%, o que é indicado pelas estreitas relações entre C orgânico, N total e S total (BEIDERBECK, 1978; METSON, 1979). No subsolo podem predominar as formas inorgânicas (ESMINGER, 1954).

O fracionamento de entidades químicas específicas é problemático do ponto de vista analítico. Os procedimentos químico-analíticos disponíveis diferenciam o enxofre ligado a oxigênio (C-O-SO_3^- e C-N-O-SO_3^-) e enxofre ligado diretamente a carbono (C-S). O enxofre ligado a oxigênio é considerado a fração reduzível, compreendendo éteres e ésteres de sulfatos (fenóis, polissacarídeos, colina, metionina e lipídios). É facilmente hidrolisado a $\text{S-SO}_4^{=}$ inorgânico, por isso considerada a fração mais lábil (TABATABAY & BREMNER, 1972). O enxofre ligado diretamente a carbono (C-S) é determinado pela redução a sulfito com Raney-níquel. Porém, devido à baixa repetibilidade do

método (interferência de ferro e manganês e produção de artefatos de húmus), nos trabalhos mais recentes a fração C-S é estimada pela subtração do S reduzível em HI do S total dos solos (De LONG & LOWE, 1962; TABATABAI & BREMNER, 1972; BETTANY et alii, 1973). A fração C-S inclui, principalmente, aminoácidos, proteínas e compostos heterocíclicos. A ligação C-S não é rompida pela mistura redutora contendo HI. Da mesma forma os sulfetos (sulfitos) orgânicos, mercaptanas, etc. não são incluídos na fração de S-reduzível em HI. O enxofre C-S contribui com 5 a 70% do total (BETTANY et alii, 1973; NEPTUNE et alii, 1975; MC LAREN et alii, 1985).

A fração do S-reduzível é mais elevada em solos mais férteis (tipo chernozem), decrescendo progressivamente para os solos cinzentos de florestas, em condições de clima temperado. Representa entre 33 a 78% do S total (BETTANY et alii, 1973; BETTANY & STEWART, 1983). O inverso ocorre com a fração C-S.

Em solos brasileiros a fração do S-orgânico varia de 77 a 95% e a fração de S-reduzível em HI varia de 36 a 70% (NEPTUNE et alii, 1975).

Existe ainda uma fração variável e não identificada do S-orgânico, que consiste em grande parte, se não totalmente, de S ligado a carbono (BETTANY et alii, 1975; MAYNARD et alii, 1985).

A fração orgânica do solo compreende uma mistura complexa e heterogênea de organismos vivos e de

plantas e animais parcialmente decompostos e resíduos microbianos em íntima associação com as partículas minerais do solo. Assim, não é surpreendente que a determinação de frações orgânicas (C-O-S e C-S) dos solos sobre o "turn-over" do S nos solos. Tentativas tem sido feitas para: a) isolamento identificação e determinação de compostos individuais, pertencendo a grupos químicos definidos; b) extração química e separação físico-química, tais como ácidos húmicos, fúlvico e humina; c) separações físicas dos solos, em vários tamanhos de frações organo-minerais; d) desenvolvimento de técnicas biológicas, auxiliadas com isótopos radioativos e estáveis, com o objetivo de isolar e identificar as frações que são significativas em termos ciclagem de nutrientes (BETTANY & STEWART, 1983).

A fração orgânica mais promissora, em termos de índices de disponibilidade de $S-SO_4^{=}$ para as plantas, parece ser a de S-reduzível em HI. MAYNARD et alii (1985) verificaram que a maior parte do ^{35}S incorporado na matéria orgânica foi encontrada na fração de S-reduzível em HI. Quando as concentrações de sulfato da solução do solo foram diminuídas via absorção pelas plantas ou adição de celulose aos solos, houve redução no ^{35}S incorporado na fração de S-reduzível em HI. Resultados semelhantes foram obtidos por TSUJI & GOH (1979), em que a absorção de S por *Lolium perenne* (L.) mostrou alta correlação com o decréscimo de S reduzível em HI nos solos, durante o cultivo.

2.1.4. FORMAS DE S INORGÂNICO NOS SOLOS

Nas rochas e minerais primários existem técnicas para se diferenciar sulfetos e sulfatos (RICKE, 1960), porém em solos essa distinção impraticável (METSON, 1979).

As formas mais comuns de S-inorgânico são o S-sulfito, o S-sulfato (ocluído, precipitado, adsorvido e o sulfato solúvel em água). O S elementar é raramente encontrado nos solos, a não ser que tenha sido recentemente adicionado como tal. O S elementar pode ter existência efêmera, como formas intermediárias nas transformações microbiológicas. BARROW (1968), descreveu um procedimento para a extração do S elementar com clorofórmio e redução a H_2S .

O S-sulfito é constituinte comum em solos alagados. O mono-sulfito de ferro II é o produto final da redução microbiológica do $S-SO_4^-$ a H_2S , na presença de matéria orgânica. Sob alagamento constante e bom suprimento da matéria orgânica, pode ser convertida à forma mais estável de FeS_2 . Subsequentemente, com a drenagem, a pirita (FeS_2) é oxidada a H_2SO_4 , seguida pela precipitação a jarosita-sulfato básico de ferro e potássio- $KFe_3(SO_4)_2$ (METSON, 1979).

O S-sulfato ocluído (ou co-precipitado) ocorre em alguns solos calcários, como sulfato de cálcio insolúvel, co-precipitado com os depósitos de carbonato de cálcio. Esta forma de S-sulfato é virtualmente indisponí-

vel às plantas (WILLIAMS & STEINBERGS, 1964).

O S-sulfato precipitado, inclui, além de outros, sulfato de bário e estrôncio, sulfatos básicos de ferro e alumínio, como a jarosita, basaluminita e alunita (ADAMS & RAWIJFIH, 1977).

Diversos estudos, citados por METSON (1979), mostram que a adsorção química (HPO_4^- , H_2PO_4^- , SO_4^- e Mo_6O_4^- , etc.) é essencialmente a expressão das espécies químicas nas superfícies dos óxidos hidratados de Fe e Al (como os "coatings" dos minerais de argila) nos cantos dos minerais tipo-camada. Existem dois tipos de adsorção: específica e não específica. Estudo valioso sob o assunto foi feito por HINGSTON et alii (1972).

O S-sulfato solúvel em água apresenta variações extremas em função do clima. Os solos de regiões áridas e os afetados pela água do mar podem conter apreciáveis quantidades de sulfatos solúveis em água, juntamente com outros sais. Nos solos de regiões úmidas encontram-se apenas algumas ppm, por causa das seguintes reações: adsorção pelos colóides do solo, lixiviação para os horizontes inferiores do solo, utilização pelas plantas e microorganismos e nos solos ácidos sulfatados pode ser precipitado como produtos insolúveis, como a jarosita (METSON, 1979).

2.2. TRANSFORMAÇÕES DO ENXOFRE NOS SOLOS

A transformação do enxofre no solo é realizado por processos essencialmente microbiológicos, em bora também sejam possíveis alguns processos, estritamen te químicos como a oxidação do H_2S . Existem quatro processos distintos: mineralização, imobilização, oxidação e redução.

2.2.1. MINERALIZAÇÃO DO ENXOFRE

Os mecanismos envolvidos na mineralização do enxofre orgânico são ainda largamente desconhecidos. Inicialmente pensava-se, uma vez que o enxofre e o nitrogênio estão intimamente associados na matéria orgânica, desses dois elementos apresentariam padrões similares de mine ralização. Todavia, experimentos de diversas partes do mun do mostram considerável controvérsia nessa área. Em alguns casos, a incubação de solos em laboratório mostrou que a mineralização de enxofre, concomitantemente com a de nitro gênio, ocorre em razões maiores do que a da matéria orgânica (WILLIAMS, 1967; HAQUE & WALMSLEY, 1972; KOWALENKO & LOWE, 1975), enquanto que em outros estudos razões mais estreitas foram observadas (TABATABAI & AL-KHAFAJI, 1980; BETTANY & STEWART, 1983). Contradição maior é mostrada em

trabalho de SAGGAR et alii (1981), em que ocorreu mineralização de nitrogênio com concomitante imobilização de enxofre.

Possíveis explicações para esse comportamento do enxofre no solo estão nos processos de mineralização envolvidos. Mc GILL & COLE (1981) sugeriram que, se qualquer elemento está associado com a matéria orgânica do solo, para a qual existem mecanismos específicos de degradação, ele pode mineralizar-se independentemente dos outros elementos. Foi demonstrada também a existência de enzimas, a sulfo-hidrolase e aril-sulfatase em solos (TABATABAI & BREMNER, 1970a, b; BETTANY & STEWART, 1983). Essas enzimas são altamente específicas e liberam $S-SO_4^-$ inorgânico de ésteres sulfatados orgânicos. Esse tipo de mineralização é chamado de "mineralização bioquímica" e resulta de uma solicitação específica por S. Por outro lado, a "mineralização biológica", tanto do N quanto do S ligado a carbono, ocorre como resultado da utilização do C como fonte de energia e não especificamente em resposta à necessidade por N ou S. A mineralização líquida do enxofre, então, é consequência dos dois mecanismos (BETTANY & STEWART, 1983).

Outra explicação possível para os resultados, aparentemente contraditórios, está nos métodos de incubação em laboratório, usados para determinar os índices de mineralização do S-orgânico. Dados de SAGGAR et alii (1981) obtidos pelo sistema de incubação fechada mostram imobilização líquida de enxofre e mineralização líquida de

N. A incubação dos mesmos solos em um sistema aberto, no qual o N e o S mineralizados foram lixiviados periodicamente com solução diluída de KCl, mostrou mineralização líquida de ambos os elementos. Sugere-se que existe um mecanismo retro-alimentador para a mineralização de S na incubação fechada, talvez pela desativação de enzimas, como as sulfatases envolvidas na mineralização bioquímica (MAYNARD et alii, 1983; BETTANY & STEWART, 1983).

2.2.2. IMOBILIZAÇÃO DO $S-SO_4^-$ INORGÂNICO

A imobilização do $S-SO_4^-$ inorgânico nos solos ocorre, principalmente, em condições de acidez e razão C/S muito elevadas (WILLIAMS, 1967; BETTANY & STEWART, 1983).

Os mecanismos de decomposição de compostos vegetais, animais e microbianos e sua subsequente incorporação na matéria orgânica do solo são largamente desconhecidos. As pesquisas nessa área estão num nível elementar, limitando-se ao estudo do destino de compostos marcados durante a incubação. Em estudo de SCHARPENSEEL & KRAUSE (1963) verificou-se que uma quantidade de S foi incorporada no ácido húmico do solo, quando o sulfato e enxofre de aminoácidos foram diretamente adicionados aos solos. Todavia, quando plantas de azevém foram cultivados com $^{35}S-SO_4^-$ marcado e os resíduos incorporados ao solo, apreciã

veis quantidades do enxofre marcado foram encontrados nos ácidos húmicos do solo. Outro estudo mostrou que após 168 dias de incubação cerca de 50% do sulfato marcado estava incorporado na fração orgânica do solo. A adição de substrato de C (glicose) aumentou a quantidade incorporada para 82%. O traçador radioativo foi encontrado tanto na fração de S-reduzível em HI quanto na de S ligado a carbono, tendo aquele mostrado a maior atividade específica. O estudo mostrou, após, que a fração de ácido fúlvico continha cerca de 75% do S imobilizado, dos quais 90% se encontram na forma reduzível em HI (FRENEY et alii, 1971).

Em estudo de incubação a (curto prazo 64 dias) mais recente, SAGGAR et alii (1981) confirmaram que o sulfato inorgânico quando imobilizado encontra-se na fração de ácido fúlvico. Levanta-se a hipótese de que essa fração é um componente altamente ativo dos solos, representada por materiais húmicos de baixo peso molecular, metabólitos celulares, e produtos de decomposição relativamente simples, de origem vegetal, animal e microbiológica (BETTANY & STEWART, 1983).

2.2.3. OXIDAÇÃO DO ENXOFRE NO SOLO

O processo de oxidação é de considerável importância, uma vez que a fonte primária de enxofre nos solos são os minerais e muitos fertilizantes de S são ba-

seadas em formas reduzidas.

O enxofre elementar, sulfitos e tio-sulfato podem ser oxidados vagarosamente por processos puramente químicos, porém a oxidação microbiológica por um grupo diverso de bactérias autotróficas, heterotróficas e fotossintéticas, fungos e actinomicetos é muito rápida sob condições favoráveis (BETTANY & STEWART, 1983).

O grupo mais estudado de microrganismos oxidantes de S pertence à família *Thiobacteriaceae*. Esses microrganismos parecem ser ubíquos, operam sob uma grande variação de temperatura e pH e são capazes de altas taxas de oxidação "in vitro". Todavia, o número desses organismos nos solos parece ser baixo, exceto quando enxofre elementar tiver sido adicionado recentemente via poluição ou adubação (MOSER & OLSON, 1953).

As reações de oxidação de compostos reduzidos de S em solos inundados, pântanos e zonas de lagos e sedimentos em condições redutoras são realizados por bactérias fotossintéticas, como *Chromatium* (bactérias S-púrpureas) e *Chlorobium* (bactérias S-verdes). A energia provém da luz solar e os elétrons derivados da oxidação do S são usados para reduzir o CO_2 . A grande variedade de fatores microbiológicos e ambientais que influenciam a oxidação do S introduz considerável variabilidade nos índices ("ritmos") de oxidação entre solos. Em um estudo com 273 solos da Austrália, VITOLINS & SWABY (1969) constata -

ram que em 19% não ocorria oxidação apreciável do S elementar adicionado, enquanto que 39% mostraram índices de oxidação muito rápidos. Em diversos trabalhos, citados por BETTANY & STEWART (1983), com solos do norte do EE.UU. e do norte do Canadá observa-se grande variabilidade nos índices de oxidação. A aplicação do S elementar para corrigir deficiências de S nas culturas deve ser encarada com cuidado. Por estudos recentes ficou claro que dois fatores afetam significativamente as taxas de oxidação do S elementar: a granulometria (mais corretamente, superfície de área) e o lapso de tempo que o fertilizante está em contato com o solo. Podem-se esperar taxas de oxidação maiores com o aumento da superfície de área e tempo de residência (BETTANY & STEWART, 1983; JANZEN et alii, 1982). Em solos de cerrado MC CLUNG & QUINN (1959) verificaram recuperações, mais demoradas da grama batatais (*Paspalum notatum* L.) com o uso de enxôfre elementar enquanto que com CaSO_4 e Na_2SO_4 houve imediato desaparecimento da clorose.

2.2.4. REDUÇÃO DO ENXOFRE NO SOLO

A redução desassimilatória ou "respiratória" do sulfato é efetuada exclusivamente por certas bactérias que usam o sulfato como aceitador terminal de elétrons para seus processos respiratórios. Os microorganismos

mos predominantes envolvidos nessa reação são anaeróbios, pertencendo a dois grupos de bactérias, *Desulphomaculatum* e *Desulfonibrio*. A redução do sulfato a sulfito somente ocorre na ausência de ar. Assim, o processo não é comum em solos agrícolas bem arejados. Todavia, em solos sujeitos a inundações periódicas ou encharcamentos, podem existir condições para a produção de grandes quantidades de H_2S , especialmente na presença de resíduos de plantas prontamente decomponíveis (BETTANY & STEWART, 1983). O H_2S reage com Fe, formando a pirita (FeS_2), sendo o composto de S reduzido mais importante em áreas costeiras. São comuns nestas áreas teores de 4 a 5% de enxofre total (BLOOMFIELD, 1969). A drenagem desses solos sulfurosos (caráter tio-mórfico) provoca a oxidação do H_2S a H_2SO_4 , com abaixamento do pH a menos de 2,5. São impróprios para agricultura.

2.2.5. CONDIÇÕES AMBIENTAIS E MANEJO DOS SOLOS QUE AFETAM A MINERALIZAÇÃO DO ENXOFRE NOS SOLOS

As condições ambientais que mais influenciam no crescimento microbiológico e na produção e atividade de enzimas são a umidade, a temperatura, o pH e a disponibilidade de substrato. Todavia, outros fatores, como a presença de plantas (SPENCER & FRENEY, 1960; TSUJI & GOH, 1970) e a secagem e o aquecimento aceleram a liberação do sulfato orgânico e inorgânico da matéria orgânica do solo (WILLIAMS,

1967; SWIFT, 1985).

2.2.5.1. Efeitos da temperatura, umidade e secamento na mineralização do enxofre no solo

O efeito da umidade na mineralização do S orgânico é conclusivamente ilustrado pelo trabalho de WILLIAMS (1967). O índice de produção de S-sulfato verificado é pequeno a baixos teores de umidade, atinge o máximo a cerca de 40% de umidade e decresce rapidamente quando o solo se torna saturado. É possível que o enxofre ainda possa ser mineralizado nessas condições, porém não a sulfato (SWIFT, 1985).

O efeito da temperatura nos índices de mineralização de enxofre é mostrado no artigo de SWIFT (1985). TABATABAI & AL-KHAFAJI (1980) constataram aumentos significativos na mineralização de N e S, em função da temperatura. A 20°C, os valores médios de N orgânico mineralizado chegaram a 3,8%, enquanto que a 35°C, o percentual elevou-se para 16,6%. Os valores médios de enxofre orgânico mineralizado a 20°C e 35°C atingiram 7,8% e 22,8%, respectivamente.

O secamento de amostras de solos podem alterar significativamente os valores de S mineralizado BIE

DERBECK, 1978) relata o efeito "BIRCH", que vem a ser um "pulso" de mineralização de S atribuído ao secamento de amostras. Relatando diversos trabalhos, o autor acha este efeito uma super-simplificação, uma vez que o "pulso" pode ser observado, mesmo quando os solos são conservados úmidos e, inversamente, o reumidecimento nem sempre produz o esperado "pulso" (WILLIAMS, 1967). Uma complicação adicional é que os níveis de sulfato são aumentados pelo simples secamento dos solos, indicando que está ocorrendo um processo não biológico. A produção de sulfato é devido, provavelmente, à lise do tecido microbiano e/ou à desdobramento de ésteres de sulfato muito lábeis (KOWALENKO & LOWE, 1975).

2.2.5.2. Efeitos da reação do solo (calagem) na mineralização e disponibilidade do enxofre no solo

É prática comum fazer a calagem algumas semanas antes do plantio, o tempo suficiente para que o calcário possa reagir com o solo. Isso pode alterar significativamente a capacidade de reação do enxofre sulfato do solo (CHAO et alii, 1962; WILLIAMS, 1967; COUTO et alii, 1979; MARTINI & MUTTERS, 1984).

A maioria dos estudos sobre adsorção de

sulfato tem mostrado que a adsorção e a retenção aumentam com o decréscimo do pH da solução de equilíbrio, dentro da faixa de pH de 6,5 a 4,0. Em faixas de pH acima de 6 a 7 a quantidade de $S-SO_4^{=}$ adsorvido é geralmente pequena (HARWARD & REISENHAUER, 1966; SINGH, 1984a, b).

A calagem pode ser traduzida como sendo um efeito direto do pH ou como efeito do deslocamento do $S-SO_4^{=}$ pelos grupos OH^- dos sítios de adsorção nos óxidos de Fe e Al (HINGSTON et alii, 1972) ou ainda como efeito da solubilização de compostos fosfatados em pH mais elevado para competir pelos sítios de troca (METSON, 1979).

O decréscimo na retenção de $S-SO_4^{=}$, após a calagem, aumentam a disponibilidade e absorção de S pelas plantas (WILLIAMS & STEINBERGS, 1964; MARTINI & MUTTERS, 1984). O efeito imediato da calagem sobre a absorção de S pode ser atribuída tanto à dessorção dos sítios de troca aniônica (PROBERT, 1976) e ao aumento na mineralização do S-orgânico (ESMINGER, 1954; WILLIAMS, 1967).

2.2.6. MIGRAÇÃO DO ENXOFRE-SULFATO NO PERFIL DO SOLO

2.2.6.1. Interação sulfato-fosfato

Outro aspecto da dessorção e disponibilização de S para as plantas é a interação sulfato-fosfatos. FIELDER & SCHOFIELD (1960) propuseram a ordem da afinidade pelos sítios de adsorção para os oxianions: sulfato < molibdênio < fosfato < vanadato, com base na sua contribuição de valência para os átomos de oxigênio coordenados ao alumínio tetraédrico. Isso implica na adsorção e retenção preferencial do fosfato, quando os ânions sulfato e fosfato estão simultaneamente presentes em um sistema de solução do solo. Dados de campo sustentam essa conclusão, pois com a adição simultânea de sulfato e fosfato (superfosfato simples, p. ex.), este tende a ser retido na camada superficial, enquanto que o sulfato é lixiviado perfis abaixo (ESMINGER, 1954; TABATABAI & BREMNER, 1972; RITCHEY et alii, 1980). Esta distribuição pode resultar no deslocamento do sulfato pelo fosfato dos sítios de adsorção da camada superficial do solo para os horizontes inferiores onde os fosfatos e a matéria orgânica não estão presentes. Também pode ser atribuída a um maior conteúdo de material coloidal no subsolo e, portanto, mais sítios de adsorção aniônica. Provavelmente, ambos os fatores contribuem (MET-

SON, 1979). A ação de ânions orgânicos na migração do sulfato é sugerida pelo trabalho de BROMFIELD (1972), que num experimento de 19 anos mostra migração perfil abaixo de $S-SO_4^-$ (inorgânico) em quantidades superiores ao do S-orgânico em parcelas que receberam, além de sulfato de amônio e superfosfato simples, adubação orgânica com esterco. Segundo SINGH (1984a, b), o sulfato desorvido por $Ca(H_2PO_4)_2$ foi afetado o mínimo pela natureza do complexo adsorativo, pH e quantidade adsorvida, indicando que o fosfato é capaz de dessorver o SO_4^- adsorvido tanto devido às cargas permanentes quanto às dependentes de pH.

Experimentos de laboratório, estufa e de campo demonstram o movimento descendente do sulfato no perfil do solo, com a adição de SO_4^- e $H_2PO_4^-$ METSON & BLAKEMORE (1978), em experimento de laboratório, com solos da Nova Zelândia, constataram que solos com baixo nível de sulfato adsorvido, tem baixa capacidade de reter o sulfato, que foi posteriormente diminuído ou eliminado com a aplicação de fosfato. Por outro lado, BORNEMISZA & LLANOS (1967) observaram que solos altamente retentivos, tem retido substanciais quantidades de sulfato, mesmo na presença de fosfato. Em solos arenosos (não retentivos de sulfato) da Dinamarca JENSEN (1963) mostrou que é impossível construir níveis de reserva de S através de superfosfato e conclui que o S deve ser aplicado da mesma forma que o N.

A migração do $S-SO_4^-$ tem importantes implicações na utilização dos solos com vegetação de cerrado (LE

distrôfico), principalmente, quando o subsolo tem caráter álico. RITCHEY et alii (1981) estudaram culturas de milho em áreas adjacentes durante um ano em que ocorreu um veranico muito severo. Na área adubada com superfosfato simples (559 kg P/ha) alguns anos antes, as plantas não murcharam, pois houve desenvolvimento de raízes até a profundidade de 120cm; na área que recebeu mais recentemente SFT (148 kg P/ha), as plantas murcharam e as raízes desenvolveram-se apenas até a profundidade de 45 cm.

2.2.6.2. Efeito da calagem na migração

$S-SO_4^-$ para o subsolo

A calagem provoca a dessorção do $S-SO_4^-$ nativo e a mineralização do S-orgânico, podendo acelerar a lixiviação do $S-SO_4^-$ mineralizado através do perfil (ESMINGER, 1954). Em condições de estufa MARTINI & MUTTERS (1984) verificaram que a calagem acima das doses recomendadas teve efeito depressivo sobre o crescimento, concentração e absorção de S por milho e soja; Em condições de campo, cultivando soja, não foi registrado efeito depressivo da calagem acima das doses recomendadas, por causa da lixiviação do $S-SO_4^-$ do horizonte A para o B. No horizonte A o $S-SO_4^-$ aumentou significativamente durante as duas primeiras semanas, devido à adubação e a partir daí decresceu por causa da absorção pelas plantas e lixiviação para o horizonte B.

Embora não tenha havido diferenças significativas nos teores de enxofre do solo por efeito da calagem, observa-se a tendência de ela promover a lixiviação do $S-SO_4^{=}$ desorvido para o horizonte B.

Em trabalho de estufa KORENTAJER et alii (1983) estudaram os efeitos da calagem e da lixiviação dos solos sobre a capacidade de fornecimento de $S-SO_4^{=}$. Nos solos lixiviados, a gessagem mostrou resposta significativa, principalmente no segundo cultivo dos solos. A calagem sem lixiviação aumentou a liberação do enxofre do solo, resultando em maior absorção pelas plantas. Ao contrário, a calagem seguida de lixiviação diminuiu a produção de matéria seca, por causa da exaustão do enxofre nativo do solo, o que explica a significativa resposta à gessagem.

2.2.6.3. Efeitos dos ânions acompanhantes na lixiviação de bases e sua distribuição no perfil do solo

Pelo que consta, os trabalhos mais antigos relatando o efeito dos ânions acompanhantes na lixiviação de bases no perfil do solo foram executados por PEARSON et alii (1962), por ABRUÑA et alii (1964) em solo argiloso de Porto Rico e VILLAMIZAR & LOTERO (1967) em solo Andept (cinza vulcânica) da Colômbia. Nos dois primeiros casos os autores estudaram o efeito de doses de sulfato de

amônio, verificando o decréscimo do pH e da percentagem de saturação de bases na camada superficial (0-15cm), mantendo-se praticamente constantes na camada sub-superficial (15-30 cm). No experimento conduzido na Colômbia foi estudado o efeito de doses e fontes de nitrogênio nas produções de capim Pangola. Após 5 anos (25 cortes) notou-se a diminuição progressiva do pH na camada de 0-20 cm, em função das doses de sulfato de amônio, enquanto que para o salitre e a uréia o pH não apresentou alterações significativas.

Em muitos solos tropicais, a camada subsuperficial possui caráter álico, o que constitui impedimento químico severo para o desenvolvimento radicular em profundidade. A neutralização do Al trocável no subsolo através de calcários requer incorporação profunda, mas esse procedimento tem um custo energético muito elevado. Por outro lado, como os materiais calcários são pouco solúveis e o ânion CO_3^- é pouco estável, o Ca^{++} não consegue migrar para o subsolo. A lixiviação somente ocorre quando há pareamento de íons (eletroneutralidade), isto é, um ânion (estável) deve mover-se juntamente com o cátion e a velocidade do processo depende da mobilidade e estabilidade do ânion acompanhante. Para estudar este efeito RITCHEY et alii (1980) construíram colunas de solos em tubos de PVC, onde foram adicionados CaCO_3 (carbonato), CaSO_4 (sulfato) e CaCl_2 (cloreto) e submetidos à lixiviação. No tratamento com CaCO_3 , o Ca^{++} alcançou a profundidade de apenas 15 a

25 cm. A maior profundidade foi atingida pelo cloreto de cálcio (cerca de 150 cm), enquanto que o sulfato chegou aos 60 cm. O menor índice de lixiviação do sulfato em relação ao cloreto é devido à adsorção específica, aos óxidos de Fe e Al, à menor solubilidade do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e ao cloreto não sofrer adsorção específica. O trabalho conduzido por RITCHEY et alii (1980) confirma os resultados de REEVE & SUMNER (1972), que neutralizaram o Al^{+++} trocável do subsolo com o gesso em oxissolos sul-africanos.

Os mecanismos de ação e mobilidade do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em relação ao CaCO_3 são elucidados pelo trabalho de PAVAN et alii (1984), em condições de colunas de solos, concluindo que 40% do Ca total está presente como CaSO_4^0 , portanto, potencialmente lixiviável e como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que reage com as diversas espécies de Al solúveis. Em análise computadorizada das soluções drenadas as espécies de Al^{3+} , AlOH^{2+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ e $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ representam 50, 25, 12 e 11%, respectivamente do Al_T (total) drenado. A aplicação do gesso resultou em altas concentrações de Ca, Mg, SO_4 e pequenas de Al nos lixiviados das colunas, redução do Al trocável no perfil e cerca de 44% do Al trocável foi convertida a uma forma não solúvel em KCl ou água. O tratamento com $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ resultou na distribuição bastante uniforme do Ca no perfil, enquanto o CaCO_3 ficou retido nos 10 cm superficiais.

Apesar de os efeitos benéficos do gesso na distribuição do Ca no perfil e neutralização do Al tro-

cável, deve-se ter em conta que também são lixiviadas as outras bases, como Mg e K. A aplicação de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ reduziu drasticamente o teor de magnésio na camada superficial em relação às testemunhas (QUAGGIO et alii, 1982); EMBRAPA, 1982). Além do Ca e do Mg, a gessagem também induz à lixiviação de K através do perfil do solo, o que foi constatado por QUAGGIO et alii (1982) em ensaio com amendoim.

Em condições de coluna e de campo verificou-se que a aplicação isolada de gesso promoveu lixiviação mais intensa de potássio do que a observada com a prática conjunta da calagem e da gessagem (EMBRAPA, 1982). Para compensar a lixiviação de Mg e K, recomenda-se que a gessagem seja acompanhada de calagem com calcário dolomítico e adubações equilibradas de K.

2.3. AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE NOS SOLOS

2.3.1. DEFICIÊNCIAS E RESPOSTAS AO ENXOFRE

Segundo COLEMAN (1966) existe maior probabilidade de deficiência de enxofre em solos arenosos, a nível mundial. Por isso, a textura pode ser usada como um critério auxiliar para estimar o enxofre disponível nos solos. Além da textura, outros fatores são determinantes das

respostas, como a acidez do solo, relação C/S, teores efetivamente baixos S total e histórico de cultivo.

2.3.1.1. Acidez do solo, relação C/S e calagem

A correção da acidez do solo implica na dessorção do $S-SO_4^{=}$ dos sítios de adsorção (HINGSTON et alii, 1972; SINGH, 1984 a, b) e mineralização do S-orgânico (WILLIAMS, 1967; METSON, 1979). Assim, o enxofre disponibilizado pela calagem implica na falta de resposta e até o efeito depressivo da gessagem. COLOZZA et alii constataram em solos PVA (Laras) e PVA (fase terraço) que após a calagem, o enxofre, aplicado como gesso, causou efeito depressivo no crescimento e na fixação de N_2 atmosférico na soja perene. A aplicação isolada de gesso também causou efeito depressivo, o que mostra a deficiência de cálcio e não de enxofre. Este comportamento também foi observado por outros pesquisadores. MONTEIRO et alii (1982) cultivando soja perene em solo PVA (var. LARAS) e CASAGRANDE et alii (1982) cultivando leguminosas e gramíneas tropicais em latossolo roxo (LR₃), não obtiveram resposta à gessagem com calagem prévia. Por outro lado, a interação gessagem-calagem vem sendo observada com maior frequência. Em cultura de milho Malavolta (s.d.), citado por VITTI & MALAVOLTA (1985) obteve resposta conjunta ao calcário e ao gesso,

usados na proporção de 7:3 em dois solos de São Paulo. Em solos de cerrado de Minas Gerais MALAVOLTA (1984) observou interação positiva entre calagem e gessagem na produção de cafeeiro (soma das duas primeiras safras). Em experimento com *Leucaena leucocephala*, Cv. Cunningham, em solo LE de cerrado, a interação da calagem e da gessagem na produção de matéria seca foi igualmente positiva (EMBRAPA/CPAC, 1981).

A relação C/S muito larga ocorre frequentemente associada à acidez, em solos turfosos, de regiões frias, de altitude e de florestas. Com relação C/S superior a 120 NASCIMENTO & MORELLI (1980a, b) obtiveram respostas à aplicação de enxofre. Este fato explica-se pela imobilização do enxofre na matéria orgânica, que é liberada pela correção da acidez (ESMINGER, 1954; WILLIAMS, 1967). É importante salientar os dados obtidos por FREIRE et alii (1972) em solos de Minas Gerais. Nos solos LE com 3,5% de matéria orgânica e TE com 4,4% não lograram resposta do milho à aplicação de enxofre, ao passo que em solos hidromórficos com 5,7% e 19% de matéria orgânica, a resposta foi muito significativa com a dose de 20 kg S/ha. Em outro experimento de FREIRE et alii (1974) com solo turfoso com 23,8% de matéria orgânica, a resposta ao enxofre foi muito significativa.

2.3.1.2. Histórico de cultivo e exaustão do enxofre dos solos

Nos solos arenosos e areias quartzosas, com teores de matéria orgânica e enxofre total efetivamente baixos a probabilidade de resposta ao enxofre é muito alta. Na Nigéria, em solos arenosos de savana e florestas OSINAME & KANG (1975) diagnosticaram deficiências severas de enxofre. Em areais quartzosas de cerrado CASAGRANDE & SOUZA (1982) e CASAGRANDE et alii (1982) obtiveram respostas imediatas de leguminosas e gramíneas tropicais, ao passo que em latossolo roxo o enxofre nativo foi suficiente. Outros experimentos comprovam que a mineralização do enxofre orgânico pode fornecer parte do enxofre absorvido pelas plantas, particularmente quando o teor de matéria orgânica é mais elevado. Porém, o cultivo continuado pode levar à exaustão do enxofre nativo, como comprovam dados de MC CLUNG et alii (1959). Nos solos virgens o conteúdo de S orgânico varia de 72 a 494 kg/ha, ao passo que nos locais cultivados durante 20 a 30 anos baixa para 48 a 120 kg S/ha. O cultivo dos solos, por outro lado, aumenta as relações C/S e C/N/S, o que demonstra mineralização mais intensa do enxofre do que do carbono e do nitrogênio (BETTANY & STEWART, 1983).

O fornecimento de enxofre através de superfosfato simples, sulfato de amônio e defensivos agríco-

las pode ser suficiente durante muitos cultivos. MIYASAKA et alii (1966) encontraram resposta em apenas um dos sete locais estudados, que anteriormente haviam recebido aplicações de fertilizantes, que aumentaram a reserva de enxofre desses solos.

A exaustão do enxofre nativo dos solos pode ser acelerada pela queima de restos culturais, como é o caso do algodoeiro, o que justifica a resposta encontrada por MC CLUNG et alii (1961) e MIKKELSEN et alii (1963). De um modo geral, os rendimentos máximos foram obtidos com 20-40 kg/ha aplicados em solos deficientes.

A indução da deficiência de S nos solos também ocorre pelo uso de fertilizantes isentos de enxofre. MC CLUNG & QUINN (1959) encontraram pronta resposta das gramíneas Batatais à aplicação de enxofre em campo cerrado de Matão (SP), previamente adubado durante 18 meses com 450 kg de N, na forma de nitrocálcio. Por outro lado, a recuperação das pastagens foi mais lenta com a aplicação de S elementar, enquanto que com CaSO_4 e Na_2SO_4 houve imediato desaparecimento da clorose.

Em solos de várzeas do Baixo Amazonas WANG et alii (1976a, b) observaram que no início da utilização dos solos o N e o P são mais importantes, porém, com 3 cultivos sucessivos de arroz inundado, usando formulações NPK sem enxofre, as produções foram reduzidas para 1 a 3 t/ha. Com a aplicação de 24 a 27 kg S/ha, as produ-

ções voltaram aos níveis originais de 5 a 7 t/ha. Com dois ou três cultivos com N-P-K isentos de enxofre, elevam-se as razões N/S, implicando na imobilização do enxofre.

Apesar de as quantidades de S consumidas pela maioria das culturas ser próximas das de P_2O_5 , as doses do primeiro que se devem usar na adubação são mais baixas. Ocorre que o S- $SO_4^{=}$ é fixado em pequenas quantidades aos colóides do solo, e permanece disponível às plantas ao invés do $H_2PO_4^-$ e do $HPO_4^{=}$ são fixados pelos óxidos hidratados de Fe e Al. A adsorção de S- $SO_4^{=}$ é maior em solos altamente intemperizados, mas a adição de fosfato provoca a dessorção, pelo deslocamento dos íons S- $SO_4^{=}$ das superfícies carregadas (BARROW, 1969). A adsorção de sulfato é dependente da concentração e do pH (KAMPRATH et alii, 1956). Iso significa que a aplicação de fertilizantes fosfatados e corretivos (calcários), aumentam o pH do solo, podem diminuir a retenção de sulfato. Assim, o sulfato aplicado ao solo deve apresentar maior percentagem de recuperação. BEATON et alii (1968-69) mostraram que em três anos sucessivos a alfafa, em condições de campo, absorveu 50% do S aplicado como gesso (15%, 17% e 18%). De forma similar SHEARD (1980), cultivando *Bromus inermis* (L.) e alfafa [*Medicago sativa* (L.)] em condições de campo recuperou de 9,4% a 27,4% em três colheitas no primeiro ano, com a recuperação decrescendo com o aumento dos níveis de S e N aplicados. Na primeira colheita do segundo ano 2,5 a 15%

do S nas pastagens, aplicado no ano anterior, foi recuperado. O autor considera que há coincidência do movimento descendente do S no perfil do solo, explicando-se, desse modo, o pequeno efeito residual do gesso. Isso é confirmado por MARTINI & MUTTERS (1984) cultivando soja em condições de campo, onde as análises de solo acusaram significativa migração de $S-SO_4^{=}$ do horizonte A para o horizonte B.

Em solos arenosos ou sem poder de retenção de $S-SO_4^{=}$, adubações fosfatadas pesadas podem induzir à exaustão do enxofre nativo, como sugerem trabalhos de JENSEN (1963) na Dinamarca e WATSON (1969) na Austrália. Dados de CATANI et alii (1971) mostram que solos brasileiros parecem ter baixa capacidade de adsorção de sulfatos. Essas informações complementam as de MC CLUNG & QUINN, (1959), que induziram a deficiência de enxofre, com adubações fosfatadas sem enxofre em solos de cerrados, cultivando a grama batatais [*Paspalum notatum* (L.)] e as de RITCHIEY et alii (1981) e QUAGGIO et alii (1982) referentes ao movimento descendente do ânion $S-SO_4^{=}$ e cátions acompanhantes (Ca, Mg e K) no perfil do solo.

A razão apropriada de N/S na adubação sugerida por BEATON et alii (1974) é de 5/1. Para a colza JANZEN & BETTANY (1984) sugerem a relação 7/1. Para as leguminosas essa relação N/S não parece ser apropriada, porque as necessidades de N, em parte, são satisfeitas pela fixação biológica. Neste caso sugere-se a relação P/S.

Para o estudo das razões adequadas de nutrientes na adubação HOMÊS (1955, 1963 e 1966) introduziu, o método das "variantes sistemáticas". PREVOT & OLAGNIER, (1964) comparando experimentos fatoriais com as "variantes sistemáticas" afirmam que a grande objeção a esse método é a de indicar apenas a razão entre eles. Para evitar este inconveniente RICHARD (1959) introduziu uma modificação no método, ao utilizar diferentes somas constantes, às quais deu o nome de "cortes" (coupes). No estudo da relação P/S tem-se verificado um equilíbrio dinâmico (HOMÊS, 1966; COOPER, 1968; BARROW, 1969). Para o caso do fósforo e do enxofre tem-se sugerido a razão P/S de 7-10/1 (MALAVOLTA, 1981). Em solos de Minas Gerais ALVAREZ et alii, (1976) encontraram relações P/S mais amplas, cultivando aveia pelo método de Neubauer. As relações P/S encontradas foram de 14,5/1 no Latossolo Roxo e 12,2/1 no Latossolo Vermelho Amarelo. Esta relação tão ampla parece explicar-se pela pronta disponibilidade das formas mais lábeis de enxofre e deslocamento do $S-SO_4^-$ pelo fosfato do complexo de adsorção e o curto período de cultivo. Segundo SIMON-SYLVESTRE (1960) supõe-se que não existe "alimentação de luxo" para o enxofre isto é, as plantas absorvem-no apenas nas quantidades suficientes ao seu desenvolvimento. No entanto, nos solos estudados por ALVAREZ et alii (1976) observou-se consumo de luxo do enxofre pela aveia, com altas doses de fósforo, na presença e ausência de calagem. Os au

tores atribuem o fato ao curto período de cultivo.

2.3.2. AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE NO SOLO

Os métodos de predição da disponibilidade de nutrientes, foram desenvolvidos com base na idéia de que um extrator químico extrairia teores proporcionais aos absorvidos pelas plantas. Para o caso específico do enxofre os estudos tem sido dirigidos para a extração e determinação analítica do $S-SO_4^-$, uma vez que o S total ou qualquer outra forma orgânica ou mineral do elemento não tem dado boas estimativas de disponibilidade para as plantas (ESMINGER & FRENEY, 1966).

O enxofre removido do solo por extratores químicos, segundo REISENAUER et alii (1973), reúne-se em três grupos: a) sulfato prontamente solúvel, que pode ser extraído com água ou soluções de $LiCl_2$ e $CaCl_2$, cujos ânions não são capazes de deslocar o $S-SO_4^-$ adsorvido; b) sulfato solúvel e parte do adsorvido, que podem ser extraídos com soluções básicas como KH_2PO_4 e $Ca(H_2PO_4)_2$ e a solução neutra de NH_4OAc N; c) sulfato solúvel mais adsorvido mais fração do S-orgânico tem sido extraídos com $NaHCO_3$ e as soluções de fosfatos em ácido acético.

2.3.2.1. Problemas relacionados com a repe-
tibilidade dos resultados analíti-
cos

Os maiores problemas encontrados em estudos com enxofre são os associados com as técnicas analíticas e preparação de amostras. Erros nessas fases levam a grande variações nos resultados. Para minimizá-las precauções devem ser tomadas na amostragem, preparação de amostras, extração e determinações analíticas. BLAIR (1979) aconselha que a amostra composta de uma área deve ser feita com 20 sub-amostras, tomadas em zig-zag. A profundidade de amostragem para um nutriente móvel como o enxofre deve ser maior, pois ele se acumula no perfil. Este problema foi experimentado por COOPER (1968) em solos de Nova Zelândia. Em solos tropicais em que os sulfatos tem sido lixiviados perfil adentro, esses ainda são acessíveis às plantas. Quaisquer experimentos visando a avaliação de análise de solo para enxofre devem incluir a distribuição vertical do S, no mínimo no começo do experimento. Por causa da natureza dinâmica do S nos solos, a época do ano para a coleta de amostras deve ser feita tão longe quanto possível de adubações prévias e tão perto do plantio quanto for praticável.

A natureza lábil dos ésteres sulfatados dos solos implica no manuseio cuidadoso das amostras, an-

tes da extração química. FRENEY et alii (1962) julgam que grande parte dos insucessos em obter correlações entre o S-sulfato extraível e resposta pode ser atribuída ao método de secagem da amostra. WILLIAMS & STEINBERGS (1964) acharam aumentos variáveis no S extraível entre solos e extratos quando os solos foram secados ao ar a 17 a 19°C. Estes aumentos variaram de 0 a 12,1 ppm de S extraível em KH_2PO_4 . PEVERILL et alii (1974), estudaram o problema e verificaram que a adição de carvão ativado à solução extratora de fosfato de cálcio reduz a variação resultante da secagem e do armazenamento a nível significativo.

Por causa da grande diversidade de solos, os extratores não se comportam de maneira similar, isto é, não são suficientemente seletivos para extrair o S efetivamente disponível para as plantas. As soluções contendo fosfato são as mais comumente usadas, por que o fosfato efetivamente desloca o S-sulfato do complexo de adsorção. Dentre os extratores fosfatados, o fosfato de cálcio teve a maior aceitação, porque o Ca divalente, não provoca a dispersão da argila e da matéria orgânica, como pode ocorrer quando se usa o potássio ou o sódio. Por outro lado, a vantagem competitiva do fosfato sobre o sulfato está implícita nos métodos comumente usados. Sais e ácidos diluídos de ânions fracamente (não especificamente) adsorvidos, como o Cl^- e o NO_3^- , extraem essencialmente o $\text{S-SO}_4^{=}$ solúvel em água (WILLIAMS & STEINBERGS, 1972; TABATABAI & BREMNER,

1973). O fosfato, ou outros ânions especificamente adsorvidos (hidroxilas, fluoretos), são usados para deslocar o $S-SO_4^-$ do complexo de adsorção. Todavia, a forte afinidade de alguns solos pelo fosfato rapidamente remove o fosfato da solução durante a extração, diminuindo assim a concentração e a eficiência (BARROW, 1967). Em tais casos recomenda-se o uso da relação solo: extrator mais larga (METSON, 1979).

Os extratores à base de $Ca(H_2PO_4)_2$ foram estudados por FONTES (1979), em solos de Minas Gerais. O extrator $Ca(H_2PO_4)_2$ -500 ppm P em ácido acético 2,0N mostrou o melhor desempenho, comparando-o com o extrator de MORGAN e o $Ca(H_2HO_4)_2-H_2O$. O autor obteve alta correlação entre a porcentagem de recuperação de $S-SO_4^-$ após o primeiro cultivo extraído $Ca(H_2PO_4)_2$ -500 ppm P em ácido acético 2,0N com a produção relativa ($r = 0,943$ a $0,993^{***}$).

A solução de NH_4OAc N foi utilizado por MC CLUNG et alii (1959) em latossolos, fase cerrado de São Paulo e Goiás, por FREIRE et alii (1974) em solos de Minas Gerais e NASCIMENTO & MORELLI (1980b) em solos do Rio Grande do Sul.

O extrator $CaCl_2$ 0,15% foi usado com relativo sucesso. WILLIAMS & STEINBERGS (1959), usando a relação solo: solução 1:5, obtiveram estreita correlação entre o S-sulfato extraído por $CaCl_2$ 0,15 e absorção de S por aveia em solos da Austrália. KOWALENKO & LOWE (1975) consideraram a solução de $CaCl_2$ 0,15% o extrator que apresentou

estreita correlação entre o $S-SO_4^{=}$ extraído e a evolução de CO_2 e enxofre mineralizado. O cloreto de cálcio (0,15%) foi usado por diversos pesquisadores, para extrair o $S-SO_4^{=}$, em diversas relações solo:solução (BARROW, 1961; TABATABAI & BREMNER, 1972), o que dificulta a comparação de resultados. Segundo ESMINGER & FRENEY (1966) e KOWALENKO & LOWE (1975), o cloreto de cálcio extrai muito pouca matéria orgânica e não é eficiente na recuperação de $S-SO_4^{=}$ adsorvido.

ISLAM & PONNAMPERUMA (1982), propuseram a solução diluída de HCl 0,05 M como extrator de $S-SO_4^{=}$ em condições de solo inundado. Embora o extrator não se correlacione bem com os componentes de produção de arroz (% S e N/S na parte aérea, palha e grão) os autores consideram -no merecedor de mais estudos, devido a sua simplicidade e poder extrair simultaneamente boro, cobre e zinco.

Por outro lado, ISLAM & PONNAMPERUMA (1982), consideram digno de nota de que as análises de solo seco mostrem correlação satisfatória com a produção do arroz cultivado em solos inundados. Uma explicação para o fato é que a rizosfera do arroz é oxidada, o que lhe confere caráter, química e biologicamente, aeróbico.

O fato de que grande parte do enxofre do solo está presente em formas orgânicas e uma fração desse enxofre orgânico é facilmente solúvel em água, alguns pesquisadores aventaram a possibilidade de uma parte adi-

cional da fração orgânica ser liberada por hidrólise suave. Em solos da Austrália WILLIAMS & STEINBERGS (1959) estudaram o enxofre extraído por água fria, água quente e por aquecimento a seco de amostras secas ao ar e concluíram que o calor é o principal responsável pela liberação adicional de enxofre. A correlação obtida entre o enxofre solubilizado pelo calor e o enxofre absorvido por aveia em vasos foi altamente significativa ($r = 0,90$).

A solução alcalina de bicarbonato de sódio a pH 8,5 comumente usada como extrator de "fósforo disponível", foi experimentada por BARSDLEY & KILMER (1963) para avaliar o enxofre disponível. O extrator é problemático para a determinação turbidimétrica do $S-SO_4^{=}$, por causa da dispersão da matéria orgânica pelo sódio.

As relações entre o S total ou S orgânico e resposta de plantas tem sido consideradas pobres ou inexistentes em solos de regiões temperadas. Todavia, num estudo feito em solos tropicais da Nigéria por ENWEZOR (1976), o S liberado pela incubação (S-orgânico) é estreitamente relacionado com a resposta das plantas. Em 45 solos usados, o autor notou que aqueles mineralizando menos de 6 ppm de S (extraído com acetato de sódio) responderam ao enxofre em experimento de vasos com milho cultivado durante 45 dias.

A extração de nitrogênio e enxofre mineralizado durante a incubação foi feita com diversos extrato-

res, destacando-se o CaCl_2 0,15% e KCl 0,01 M. O extrator CaCl_2 0,15% foi considerado o melhor dentre outros testados por WILLIAMS & STEINBERGS (1959) e KOWALENKO & LOWE (1975). Em virtude de intensidade de liberação de N e S ser afetada pelo pH TABATABAI & AL-KHAFAJI (1980) optaram por uma solução neutra de KCl 0,01 M, em vez de CaCl_2 0,01M (pH = 6,0), recomendada por STANFORD & SMITH (1972). Outra razão para o uso da solução de KCl foi para evitar a adição de Ca^{++} , que pode precipitar o sulfato liberado.

Os métodos de determinações analíticas do S-total e $\text{S-SO}_4^{=}$ disponível nos solos, constantes na literatura, valem-se da turbidimetria ou do método redutor com HI de JOHNSON & NISHITA (1952). Esse método é muito preciso, mas seus inconvenientes são a lentidão e o custo dos reagentes químicos utilizados. Por isso, muitos pesquisadores tem optado pelo método turbimétrico. Todavia, nas determinações turbidimétricas é essencial que se tenham extratos bem limpos (BARDSLAY & LANCASTER, 1965). O problema mais sério é a instabilidade da suspensão de sulfato de bário, que pode ser contornado com o uso de estabilizadores como a goma arábica, o álcool polivinílico (BLAIR, 1979) e o TWEEN -80 utilizado por QUINN & WOODS (1976) para análises de plantas. Em extenso trabalho de revisão de literatura BEATON et alii (1968) listaram cerca de 107 métodos de extração e determinação analítica de S e 66 combinações de incineração e métodos analíti-

cos para material de plantas e solos, o que torna bastante difícil a interpretação agronômica.

2.3.2.2. Correlação, calibração e interpretação de métodos de análises de enxofre no solo

A maioria dos métodos publicados sobre enxofre disponível nos solos, de alguma forma, são correlacionados com a resposta das plantas. As correlações, geralmente, são melhores a partir de dados de experimentos em vasos do que de dados de campo, porque é alta a densidade de enraizamento e é mínima a influência de outros fatores (outros nutrientes, clima, etc.) sobre o crescimento das plantas. Os estudos são geralmente de valor limitado, por serem, em geral estudos de esgotamento a curto prazo, em vez de medirem a capacidade de suprimento de enxofre durante o ciclo completo da cultura (BLAIR, 1979).

Embora os estudos de correlação em estufa sejam uma forma eficiente de discriminar solos responsivos dos não responsivos a determinado elemento deficiente, os experimentos de calibração a campo são indispensáveis. Os dois métodos gerais de calibração são: 1) relação entre a porcentagem de produção máxima (produção sem o elemento/ produção com o elemento) x 100 e análise de solo e 2) sele

ção de um valor acima do qual pouca ou nenhuma resposta é provável.

Devido aos diversos extratores pesquisados, a literatura mostra "valores críticos" os mais variados possíveis (ESMINGER & FRENEY, 1966; REISENHAVER, 1975; BEATON et alii, (1974), o que torna bastante difícil a sua capacidade preditora, quando se analisam os dados de forma conjunta. Em solos do Estado de São Paulo MC CLUNG et alii (1959) encontraram o valor crítico de 6-7 ppm de $S-SO_4^{=}$, para o extrator NH_4OAc 0,5N, em solos de cerrado, usando o milho como planta teste. Para solos da Nigéria, KANG & OSINAME (1976) acharam o valor crítico de 4 ppm de $S-SO_4^{=}$ para o extrator NH_4OAc 0,5N, usando milho como planta-teste. Em solos de arroz inundado, ISLAM & PONNAPERUMA (1982) encontraram o nível crítico de 30 ppm $S-SO_4^{=}$ pelo extrator NH_4OAc para o arroz.

Para o extrator $Ca(H_2PO_4)_2$ - 500 ppm P em $HOAc$ 2,0N HOEFT et alii (1973), em solos de WISCONSIN (USA), obtiveram o nível crítico de 10 ppm $S-SO_4^{=}$ para a alfafa. Para o arroz inundado nas Filipinas ISLAM & PONNAMPERUMA (1982) obtiveram o nível crítico de 9 ppm de $S-SO_4^{=}$. Em solos de Minas Gerais (Brasil) FONTES (1979) obteve níveis críticos de 1,2 a 12 ppm $S-SO_4^{=}$ com o extrator $Ca(H_2PO_4)_2$ -500ppm P em $HOAc$ 2,0N usando o sorgo como planta-teste, em solos de gênese variada. Na Austrália, PROBERT & JONES (1977), através de média ponderada de perfil, lograram distinguir entre locais responsivos e não responsivos a enxofre sob pasta-

gens de leguminosas tropicais.

O enxofre-sulfato prontamente solúvel é estimado por cloretos de cálcio, lítio e magnésio. Para pastagens (gramíneas e leguminosas) no Canadá BEATON & FOX (1971) determinaram o nível crítico de 6 ppm $S-SO_4^{=}$ extraído pelo $CaCl_2$ 0,01 M. Na Nova Zelândia usando o extrator $CaCl_2$ 0,15% COOPER (1968) determinou o nível crítico de 6 ppm. Em arroz inundado ISLAM & PONNAMPERUMA (1982) determinaram o nível de 9 ppm de $S-SO_4^{=}$ como para o extrator $CaCl_2$ 0,15% em arroz inundado; enquanto que para o extrator $LiCl$ 0,1 M o nível crítico determinado foi de 25 ppm de $S-SO_4^{=}$.

O ácido clorídrico também foi empregado como extrator de enxofre disponível. Em pastagens na Austrália, ANDREW (1975) aponta um nível crítico de 200 ppm de $S-SO_4^{=}$. ISLAM & PONNAMPERUMA (1982), para o arroz inundado, determinaram o nível crítico de 5 ppm de $S-SO_4^{=}$.

A variabilidade entre os resultados obtidos entre os diversos estudos de nível crítico de enxofre disponível, enfatiza a necessidade de se limitar a interpretação de resultados experimentais a áreas restritas de solos semelhantes e mesmos extratores e procedimentos analíticos de $S-SO_4^{=}$. Assim, a extrapolação de resultados de experimentos de calibração somente será válida em condições similares (BLAIR, 1979).

Outro fator complicador na interpretação

conjunta de resultados de experimentos com enxofre é a profundidade de amostragem. Em solos de pastagens SAUNDERS & COOPER (1975) não conseguiram demonstrar qualquer vantagem em amostragens de 0-15 cm de profundidade comparadas com as de 0-7 cm. Todavia esses resultados não são necessariamente aplicáveis para situações onde as acumulações de sulfato no subsolo são utilizadas por plantas de enraizamento profundo. BARDSLEY & KILMER (1963) acharam as melhores correlações entre os dados de produção relativa e análise de solos com uso da profundidade de amostragem de 0-30 cm. Num caso extremo BLAKEMORE et alii (1969) verificaram que a alfafa de terras altas extrai $S-SO_4^-$ (solúvel em água) de profundidades superiores a 100 cm, em solos com os horizontes superficiais extremamente deficientes em enxofre.

2.3.3. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E ENXOFRE DOS SOLOS POR MODELOS MATEMÁTICOS

A maioria dos estudos referentes à mineralização de N e S tem envolvido períodos curtos de incubação, projetados para serem métodos rápidos de predição de N e S para as plantas. Por causa da estreita relação entre a conversão microbiana de N e S, supunha-se que os

índices relativos de mineralização dos dois elementos seriam similares, isto é, N e S mineralizariam aproximadamente na mesma razão (WHITE, 1959). Esta suposição, todavia, não consegue explicar resultados de diversos estudos, nos quais a razão N/S de mineralização foi maior que a da matéria orgânica (WILLIAMS, 1967; TABATABAI & BREMNER, 1972; HAQUE & WALMSLEY, 1972). Outros estudos mostraram razões N/S de mineralização menores do que as da matéria orgânica (NELSON, 1964). Poucos estudos, no entanto, mostram razões N/S de mineralização iguais à da matéria orgânica (NELSON, 1964; KOWALENKO & LOWE, 1975).

Poucos trabalhos de mineralização de N e S foram conduzidos por períodos prolongados de incubação. Stanford e colaboradores (STANFORD & SMITH, 1972; STANFORD et alii, 1977) desenvolveram um procedimento para estudar os potenciais de mineralização de N dos solos, por processo de incubação aberta e lixiviação em intervalos pré-determinados com soluções diluídas de CaCl_2 e KCl .

Diversos modelos matemáticos podem ser usados para descrever os dados obtidos quando a acumulação de N-mineralizado ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) é analisada em função do tempo de incubação. As relações curvilíneas, em geral tem mostrado o melhor grau de ajustamento (STANFORD & SMITH, 1972; MOLINA et alii, 1980). Estas relações são comumente descritas pelas equações hiperbólica e exponencial de primeira ordem. A equação hiperbólica aplicada à mineralização de N é:

$$N = N_0^H \cdot t / (bN_0^H + t)$$

onde: N é o N mineralizado cumulativamente ($\mu\text{g N}$, g^{-1} solo), N_0 é definido como o "pool" de N potencialmente mineralizável, t é o tempo e b é uma constante [semanas ($\mu\text{g N} \cdot \text{g}^{-1}$ solo) $^{-1}$]. Muitos pesquisadores usaram uma transformação linear da equação acima (STANFORD & SMITH, 1972; CAMPBELL et alii, 1981).

A equação exponencial de primeira ordem que descreve a mineralização líquida de N é:

$$N = N_0^F [1 - \exp(-Kt)]$$

onde: N é o N mineralizado líquido acumulado até o tempo t, K é a constante de índice invariante (semanas $^{-1}$) e N_0^F é definido como "pool" de N potencialmente mineralizável no tempo t = 0. Os valores de N_0^F e K estimados pelo método dos mínimos quadrados não lineares (MARY & REMY, 1972; SMITH et alii, 1980) são mais precisos e menos ambíguos do que os obtidos usando as duplas recíprocas da equação hiperbólica para obter um valor inicial de N_0 (STANFORD & SMITH, 1972).

A constante b da equação hiperbólica pode ser escrita sob a forma:

$$b = T_c / N_0^H,$$

onde: T_c é o tempo necessário (semanas) para mineralizar $1/2 N_0^H$, obtendo-se:

$$N = N_0^H \cdot t / (TC + t).$$

Devido à pequena capacidade de predição do rendimento das culturas e adsorção de N das equações de primeira ordem e hiperbólica (SMITH et alii, 1980; STANFORD et alii, 1977), MOLINA et alii (1980) sugeriram que a mineralização de N pode ser vista como a decomposição de dois ou mais compostos com índices variáveis de decaimento. Daí propuseram que a mineralização deveria ser modelada como sendo a soma de dois ou mais exponenciais para alguns solos, conforme a equação proposta por MOLINA et alii (1980),

$$N_+ = N_0 S (1 - e^{-ht}) + N_0 (1 - S) (1 - e^{-kt}) + \xi,$$

onde: N_+ é a concentração de substrato no tempo t , N_0 , o substrato mineralizável ou potencialmente, no tempo 0, S e $(1 - S)$ representam as frações de N orgânico, de rápida e lenta decomposição respectivamente, K e h as respectivas constantes e ξ o termo de erro com média zero e uma variância fixa σ^2 .

O modelo de MOLINA et alii (1980) ajustou-se bem aos de LINDEMAN & CARDENAS (1984), aplicando esgoto digerido anaerobicamente irradiado com raios gama. Os métodos que usam uma exponencial são inadequados para estimar N_0 , quando uma fonte orgânica, como o esgoto, é adicionada. Os índices de mineralização de solos tratados com esgoto mudam dramaticamente nas primeiras semanas de incubação e após permanecem ainda mais altos do que nos solos não tratados. O método de MOLI

NA et alii (1980) assume que as duas formas de N, que se decompõe a índices diferentes deram o melhor ajustamento aos dados experimentais (JUMA et alii, 1984).

2.4. ANÁLISE DE TECIDO PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE ENXOFRE EM PLANTAS

As análises de tecido para avaliação do estado nutricional tem validade somente quando especificados os métodos de incineração e digestão úmida e métodos de determinação analítica. Este fato torna-se imediatamente evidente, quando se consulta a literatura referente a análises de enxofre, com implicações muito sérias para se estabelecer o nível crítico do teor de enxofre na planta. KANG & OSINAME (1976), com o uso o método de fusão de carbonato de sódio e HCl encontraram o nível crítico de 0,14% de S total na folha bandeira de arroz, relacionando-o com a produção de arroz. Para o milho doce DAIGGER & FOX (1971) sugeriram o nível crítico de 0,24%, com o uso da digestão nítrico-perclórica. SANSUM & ROBINSON (1974) concluíram que a recuperação do S na planta depende do método de digestão na incineração a seco o teor de S total foi de 0,15%; para a digestão $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ de 0,207%; para a digestão $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ e mais uma hora de digestão após o clareamento de 0,335%.

Assim, os níveis críticos de S total devem ser estabelecidos em função das exigências culturais e das técnicas de laboratório, isto é, digestão e determinações analíticas.

Dos métodos disponíveis para oxidar o enxofre orgânico a sulfato, a incineração úmida, usando a mistura nítrico-perclórica mais dicromato e metavanadato e a hora de digestão após a mudança de coloração parece o mais aceitável (SANSUM & ROBINSON, 1974). Um segundo método digno de investigação é o método da mistura de nitrato de magnésio com ácido perclórico, proposto por QUINN & WOODS (1976). Ambos os métodos requerem um mínimo de equipamentos e, com pessoal treinado, são rápidos e reproduzíveis (BLAIR, 1979).

A incineração a seco parece determinar apenas o $S-SO_4^{=}$, pois as formas reduzidas de S são volatilizadas durante o processo. O $S-SO_4^{=}$ por incineração a seco representa, possivelmente, quantidades similares às de S-reduzível em HI, que se julga estar principalmente na forma de éster-sulfato (MAYNARD et alii, 1983).

Para as gramíneas, de um modo geral, o nível crítico de S-total está ao redor de 0,15%. Para o sorgo FONTES (1979) e para o capim colônia MALAVOLTA et alii (1984a) observaram, respectivamente, os níveis críticos de 0,16 e 0,15%, usando a digestão nítrico-perclórica. Para culturas exigentes como a colza está ao redor de 0,6 a 0,7% (MALAVOLTA et alii, 1984 b; JANZEN & BETTANY, 1984).

LOTT et alii (1960) concluíram que o $S-SO_4^{=}$ é mais sensível que o S-total como índice de deficiência de S para o cafeeiro. FREITAS et alii (1972) concluíram que cerca de 200 ppm de $S-SO_4^{=}$ em folhas de cafeeiro indicam um nível nutricional de S adequado. Todavia, ANDERSON & SPENCER (1950) já alertaram para o fato de que este critério por si só não é satisfatório, pois o $S-SO_4^{=}$ pode acumular-se nas plantas sob condições de deficiência de Mo, mesmo quando o enxofre está deficiente no solo. Por outro lado, BLAIR (1979) considera o teor de $S-SO_4^{=}$ em folhas de cafeeiro colhidas em várias estações do ano por FREITAS et alii (1972) um critério pouco sensível como diagnóstico foliar, por causa da dispersão dos dados. Estas variações também foram vistas por diversos trabalhos feitos na Austrália, citados por CLARKE & LEWIS (1974). Estas diferenças se tornam mais evidentes por força de variações estacionais tanto em leguminosas quanto em gramíneas forrageiras.

Diversos indicadores do estado nutricional de S nas plantas tem sido investigados, além de percentagem de S-total, como a percentagem de S-reduzível em HI, as razões N/S e S-reduzível em HI/S-total. Como há grandes variações estacionais nos teores de S-total e S-reduzível em HI nas culturas perenes, pastagens e anuais, diversos autores tem empregado a razão S-reduzível em HI/S-total como indicativos do estado nutricional de enxofre (RAS SMUSSEN et alii, 1977; MAYNARD et alii, 1983b).

As variações nas concentrações de enxofre total entre plantas de trigo deficientes e não deficientes foi muitas vezes menor do que as variações de ano para ano, das concentrações de enxofre total em plantas amostradas no mesmo desenvolvimento. Assim, a razão S-reduzível em HI/S total foi considerado o índice do estado nutricional de enxofre em plantas mais consistente e satisfatório para experimentos (RASSMUSSEN et alii, 1977; SPENCER & FRENEY, 1980; MAYNARD et alii, 1983b). Por outro lado, a razão S-reduzível em HI/S total foi o único índice não afetado significativamente pelos teores de outros nutrientes nas plantas, particularmente o N (GOH & KEE, 1978; FRENEY et alii, 1978; MAYNARD et alii, 1983b). Entretanto, o nível da razão S-reduzível em HI/S total varia entre espécies. FRENEY et alii (1978), encontraram índices variando de 0,26 a 0,30 para o trigo, enquanto que na colza [*Brassica campestris* (L.)], MAYNARD et alii (1983b) encontraram índices de 0,48 a 0,56.

As variações entre a concentração de S-total entre trigo deficiente e não deficiente foi muitas vezes menor do que a variação de ano para ano de concentração de S total de plantas amostradas no mesmo estágio de crescimento. Assim, a razão S-reduzível em HI/S total foi considerado o índice de planta mais consistente e satisfatório em estudos de campo. Por outro lado, a razão S-reduzível em HI/S total foi o único índice não afetado

significativamente pelos níveis de outros nutrientes, particularmente o N (GOH & KEE, 1978; FRENEY et alii, 1978). O nível crítico da razão S-reduzível em HI/S total varia entre espécies diferentes. FRENEY et alii (1978) encontraram índices variando de 0,26 a 0,30 para o trigo, enquanto que para a colza [*Brassica campestris* (L.)] MAYNARD et alii (1983b) encontraram índices de 0,48 a 0,56.

Muitos pesquisadores tem sugerido que a razão N/S possa ser usada como meio de diagnóstico. DIJKSHOORN & VAN WIJK (1976) fizeram uma revisão compreensiva, com citações referentes à razão N/S no conteúdo de proteína de folhas de plantas em crescimento. Adubações nitrogenadas na ausência de enxofre induzem ao efeito de diluição de S no tecido vegetal. A razão N/S encontrada variou de cerca de 14:1 para leguminosas até 17:1 para gramíneas. No entanto, para uma cultura exigente como a colza (*Brassica napus* L.) JANZEN & BETTANY (1984) encontraram a relação N/S = 7 como a mais adequada. MALAVOLTA et alii (1984 b) encontraram relações semelhantes, caracterizando a deficiência de S na colza, com a relação N/S > 8 na lâmina foliar; o teor foi considerado adequado com relação N/S > 6. MALAVOLTA et alii (1984a) estabeleceram a deficiência de S para o capim colonião (*Panicum maximum* Jacq.) com relação N/S > 20.

O exesso de nitrogênio em relação ao enxofre disponível afeta severamente a produção de sementes de colza, como atestam os trabalhos de MAYNARD et alii (1984b)

e JANZEN & BETTANY (1984). Este efeito é atribuído ao acúmulo de níveis tóxicos de metabólitos de N. Por outro lado aplicações excessivas de S em relação à disponibilidade de S, produziram acúmulo de S nos tecidos da planta. As folhas e, até certo ponto, os pecíolos, foram os locais de acúmulo excessivo do nutriente. No entanto, nas sementes da colza as concentrações de S mantiveram-se relativamente constantes (JANZEN & BETTANY, 1984).

A relação P/S no tecido foliar também foi sugerida como indicador do estado nutricional do enxofre na planta. Segundo MALAVOLTA et alii (1984a) a relação $P/S > 2$ caracteriza a deficiência de enxofre no capim colonião. Em outro experimento, MALAVOLTA et alii (1984 b), considerando apenas a lâmina foliar da colza, julgaram como adequada a relação $P/S = 1$ nos tratamentos com enxofre.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. SOLOS - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE ROTINA

As características físicas e químicas dos solos estão reunidas na tabela 3.1. A classificação dos solos, apesar de as amostras de terra não terem sido coletadas em perfis modais, foi feita pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1981). As análises físicas (granulometria, densidade global e capacidade de embebição) foram feitas por metodologia de rotina (EMBRAPA, 1979).

As análises químicas de rotina de terra (pH, P , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{+++} e H^+) foram determinadas pela metodologia empregada na ESALQ/USP (CATANI E JACINTHO, 1974).

O carbono no solo foi determinado pela técnica de WALKLEY-BLACK (ALLISON, 1965) e o nitrogênio total do solo segundo BREMNER (1965).

3.2. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE S TOTAL NAS AMOSTRAS DE TERRA

Para a determinação do teor de S total nas amostras de terra obedeceram-se aos seguintes procedimentos:

3.2.1. DIGESTÃO DAS AMOSTRAS DA TERRA

As amostras de terras foram digeridas utilizando-se, basicamente, a metodologia de CHAPMAN & PRATT (1960). Nas amostras de terra, com alta percentagem de argila, como o LEd de Catalão (GO) e LVd do Rio Paranaíba (MG) dobraram-se as quantidades de ácido perclórico e nítrico para se obter a completa digestão do material.

Tabela 3.1 - Características gerais das amostras de terra⁽¹⁾ utilizadas nos experimentos (médias de 3 repetições).

Local	Solo	Classificação Brasileira	Areia	Silte	Argila	Dens. Global (g/cm ³)	Capac. Embebição	C	N	pH em água	P	K	Ca	Mg	Al	H	Necess. Calagem (t/ha)
			%	%	%		cm ³	%	%		ppm	ppm	meq/100 g	meq/100 g	meq/100 g		
Anhembi-SP	LVm		77,9	5,0	17,1	1,339	33,2	0,99	0,064	5,4	6	87	1,30	0,66	0,68	3,04	1,658
São Pedro-SP	AQd		89,1	2,8	8,1	1,511	25,8	0,85	0,080	5,0	5	47	1,42	0,50	0,11	1,22	0,374
Assis-SP	LEm		84,2	2,6	13,2	1,423	26,5	0,50	0,048	4,4	11	13	0,64	0,08	0,08	2,05	1,388
Pirassununga-1-SP	LEm (cer.)		74,6	3,0	22,4	1,344	31,6	1,10	0,062	5,6	1	13	0,44	0,14	0,68	3,04	1,326
Pirassununga-2-SP	LVm (cer.)		66,3	4,4	29,3	1,273	36,8	0,79	0,068	5,2	4	20	0,74	0,08	0,61	2,96	1,856
Botucatu-1-SP	LEm		81,2	2,4	16,4	1,385	29,7	1,18	0,092	4,7	3	53	1,14	0,46	0,68	3,04	1,730
Botucatu-2-SP	LR		35,6	6,2	58,2	1,207	43,4	1,87	0,204	5,1	6	140	4,22	0,94	0,19	5,32	1,760
Matão-SP	LEm (cer.)		77,9	5,0	17,1	1,292	34,5	1,51	0,116	6,0	3	77	2,26	1,00	tr.	1,98	0,430
Catalão-GO	LEd (cer.)		30,9	15,0	54,1	1,156	50,2	2,48	0,150	4,1	8	40	0,50	0,50	1,22	7,07	4,406
S.S. Paraíso-1-MG	LE		64,6	16,3	19,1	1,261	41,5	1,90	0,156	6,5	1	67	2,70	0,76	-	4,06	1,520
S.S. Paraíso-2-MG	LE		40,8	23,8	35,4	1,156	40,0	1,61	0,130	5,4	2	47	0,40	0,42	0,08	4,96	2,283
Rio Paranaíba-MG	Lvd (cer.)		22,4	17,4	60,2	1,154	56,2	3,03	0,164	5,1	2	37	0,32	0,30	0,28	7,84	4,340

(1) - Amostras superficiais, coletadas de 0-20 cm de profundidade.

3.2.2. DETERMINAÇÃO ANALÍTICA DO S TOTAL NOS SOLOS

A determinação analítica do S total foi feita pelo procedimento de MALAVOLTA (1950), com ligeiras modificações. Após a digestão completa do material, filtraram-se os digeridos em papel quantitativo, com água desionizada, até recolher 100 ml. A seguir, tomaram-se alíquotas de 50 ml, que foram aquecidas até a ebulição, precipitando-se então os sulfatos com 10 ml de BaCl_2 a 10%. Ferveram-se as alíquotas por 5 minutos, deixando-as, após, em repouso por uma noite. No dia seguinte filtraram-se as alíquotas em papel quantitativo (Tipo S & S, faixa azul), com cerca de 250 ml de água desionizada, até o filtrado não acusar mais presença de cloretos. O papel de filtro com o precipitado foi secado lentamente em estufa e, a seguir, incinerado, elevando-se gradativamente a temperatura, a 550°C por 3 horas. Após esfriar, pesaram-se os precipitados. Fizeram-se brancos.

3.3. DETERMINAÇÃO DO $\text{S-SO}_4^{=}$ DISPONÍVEL NOS SOLOS

O enxofre disponível para as plantas, foi estimado via extratores químicos: a) acetado de amônio 0,5N em ácido acético 0,25N (BARDSLEY & LANCASTER, 1965); b) fosfato de cálcio, 500 ppm de P em ácido acético 2,0N (HOEFT et alii, 1973); c) cloreto de cálcio a 0,15% (WILLIAMS & STEINBERGS,

1959); d) ácido clorídrico 0,05 M (ISLAM & PONNAPERUMA, 1982).

3.3.1. ACETATO DE AMÔNIO 0,5 N EM ÁCIDO ACÉTICO 0,25 N

Na técnica de BARDSLEY & LANCASTER (1965) foram feitas as seguintes modificações:

3.3.1.1. Solução extratora- foi usada a modificação de VITTI & SUZUKI (1978)

3.3.1.2. Filtração do extrato - em vez do papel quantitativo utilizou-se o papel qualitativo de filtração rápida (tipo FRAMA). No entanto, constatou-se a necessidade de eliminação do enxofre-sulfato, de acordo com a seguinte técnica: lava-se o papel por 2 vezes com HCl 0,1 N e a seguir com o próprio extrator. Deixa-se o papel no funil e utiliza-se no dia seguinte. Após a agitação da amostra, a terra, com o extrato são passados para o funil e o extrato, é refiltrado por 2 a 3 vezes, no mesmo funil, até se mostrar completamente límpido.

3.3.1.3. Determinação analítica do $S-SO_4^-$
extraído-segundo a modificação de
VITTI & SUZUKI (1978).

3.3.2. FOSFATO DE CÁLCIO - $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm P
em ácido acético 2,0N

3.3.2.1. Solução extratora e extração - se-
guiu-se a metodologia de HOEFT et
alii (1973)

3.3.2.2. Filtração do extrato - idem secção
3.3.1.2.

3.3.2.3. Determinação analítica de $S-SO_4^-$ - idem
secção 3.3.1.3.

3.3.3. CLORETO DE CÁLCIO A 0,15%

3.3.3.1. Solução extratora e extração - se-
guiu-se a metodologia de WILLIAMS &
STEINBERGS (1959).

3.3.3.2. Filtração do extrato - idem secção
3.3.1.2.

3.3.3.3. Determinação analítica de $S-SO_4^-$ -
idem secção 3.3.1.3.

3.3.4. HCl 0,05 M

3.3.4.1. Solução extratora e extração - se-
guiu-se a metodologia de ISLAM &
PONNAMPERUMA (1982);

3.3.4.2. Filtração do extrato - idem sec-
ção 3.3.1.2.;

3.3.4.3. Determinação analítica - idem sec-
ção 3.3.1.3.

3.4. EXPERIMENTO DE CASA DE VEGETAÇÃO

As amostras de terra foram passadas em pe-
neira de 6 mm e secadas na casa-de-vegetação, para uso pos-
terior.

3.4.1. QUANTIDADE DE TERRA USADA POR VASO

Os solos usados constam na Tabela 3.1. Das amostras de terra provenientes de Anhembi (Piracicaba), São Pedro, Pirassununga, Botucatu e Matão (SP), Catalão (GO) e São Sebastião do Paraíso (MG), utilizaram-se 5,2 kg de terra seca por vaso. Das amostras provenientes de Assis (SP) e Rio Paranaíba (MG) utilizaram-se, respectivamente, 3,5 e 2,6 kg de terra seca por vaso.

3.4.2. CALAGEM E ADUBAÇÃO SULFATADA

A calagem foi quantificada pela metodologia de QUAGGIO (1983), considerando-se 70% da saturação de bases, a densidade global dos solos (Tabela 3.1.), uma camada de 20 cm de solo a ser corrigida e a acidez fisiológica da uréia, essa usada, como fonte de N. Acrescentaram-se mais 0,3445g por quilo de terra além das quantidades constantes na Tabela 3.1. Essa quantidade adicional de corretivo foi calculada em função do equivalente de CaCO_3 da uréia (84/100g), do PRNT do corretivo MINERCAL (130%) e da aplicação de 240 ppm de N no primeiro cultivo.

A adubação sulfatada foi feita com gesso purificado da ULTRAFERTIL, nas doses de 0,20 e 40 ppm de S.

3.4.3. INCUBAÇÃO

As doses de enxofre (como gesso agrícola), na presença e ausência de calagem, foram adicionadas às terras, incubando-as com umidade equivalente a 80% de sua capacidade de embebição, em sacos plásticos semi-abertos para permitir a aeração das amostras. A seguir, as terras foram colocadas na casa de vegetação pelo período de 20 dias. Semanalmente, revolveram-se as amostras de terra nos sacos plásticos, para prevenir ambiente anaeróbico. Findo o período de incubação, coletaram-se 200 g de terra (base seca ao ar), que secadas e peneiradas (em 2mm), foram acondicionadas em sacos plásticos para posteriores análises.

3.4.4. ADUBAÇÃO E CULTIVO DAS TERRAS

Efetuaram-se dois cultivos das amostras de terra, sendo o primeiro de 42 dias e o segundo de 48 dias. Usou-se o milho como planta-teste.

3.4.4.1. Adubação no primeiro cultivo

Antes do primeiro cultivo, aplicaram-se, em forma de solução os seguintes nutrientes: potássio: 150 ppm de K na forma de KH_2PO_4 ; fósforo: 200 ppm de P-118 ppm como de KH_2PO_4 e 82 ppm como $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; nitrogênio: 60 ppm de N - 37 ppm como de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ e 23 ppm como de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; magnésio: 40 ppm de Mg como $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; cálcio: nos tratamentos sem-calagem aplicam-se 200 ppm de Ca como $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; molibdênio: 0,1 ppm como $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; boro: 0,5 ppm B como H_3BO_3 ; cobre: 1,5 ppm como $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; zinco: 5 ppm como ZnCl_2 .

Aos 21 dias após a semeadura aplicaram-se 90 ppm de N como uréia comercial; aos 35 dias aplicaram-se mais 90 ppm de N e 70 ppm de K como KCl.

3.4.4.2. Adubação no segundo cultivo

Na adubação de base do segundo cultivo, aplicaram-se 2/3 das quantidades de todos os nutrientes aplicados antes do primeiro cultivo, incluindo o cálcio, nos tratamentos sem calagem.

Aos 21, 35 e 42 dias após a semeadura aplicaram-se, em cada cobertura, 60 ppm de N como uréia comercial e 70 ppm de K como KCl.

3.4.5. PLANTIO E COLHEITA DA PLANTA-TESTE

Como planta-teste usou-se o milho (cv. Piranão VD 2), com 3 plantas por vaso nos solos de Rio Paranaíba (LVd) e Assis (LEm) e 5 plantas por vaso nos demais solos. Colheu-se a parte aérea do milho aos 42 dias após a semeadura no primeiro cultivo e aos 48 dias, no segundo cultivo. O material foi secado na estufa de circulação forçada a 75°C, até acusar peso constante. A moagem do tecido vegetal foi feita usando-se peneira de 20 mesh. O peso da matéria seca dos solos de Rio Paranaíba e Assis foi corrigido para 5kg de terra seca ao ar por vaso.

3.4.6. ANÁLISES DE PLANTAS

As digestões sulfúrica (N-total) e nítrico-perclórica e as determinações analíticas de N e P foram feitas pelos procedimentos descritos por SARRUGE & HAAG (1974). A determinação analítica do S-total no extrato nítrico-perclórico foi feita segundo VITTI & RODELLA (1982).

3.4.7. COLETA DE AMOSTRAS DE TERRA APÓS OS CULTIVOS

Após o primeiro cultivo, a terra foi destorroada, peneirada em 6mm, e removidas as raízes. Tomaram-se 200g para análises posteriores.

Para o segundo cultivo utilizaram-se 2,1 kg de terra seca ao ar por vaso no Solo Rio Paranaíba (LVd), 3,0 kg no Solo de Assis (LEm) e 4,5 kg nos demais solos. Terminado o segundo cultivo, repetiu-se o procedimento usado após o primeiro cultivo.

3.5. EXPERIMENTO DE LABORATÓRIO: Mineralização aeróbia de enxofre ($S-SO_4^{=}$) e nitrogênio ($N-NH_4^+ + NO_3^-$), por técnica de incubação aberta.

3.5.1. SOLOS E TÉCNICAS ANALÍTICAS USADAS

Para o experimento de incubação aberta em laboratório utilizaram amostras de terra dos solos de São Pedro (AQd), Assis (LEm), Pirassununga-1 (LEm), Matão (LEm, cerrado), Catalão (LEd, cerrado), São Sebastião do Paraíso-2 (LRd) e Rio Paranaíba, (LVd), conforme tabela 3.1. Para a incubação aberta utilizaram-se amostras de terra previamente

incubadas pela técnica descrita na secção 2.4.3.

Os procedimentos de incubação aberta e lixiviação das amostras de terra foram descritas por STANFORD & SMITH (1972) & TABATABAI & AL-KHAFAJI (1980). A determinação analítica do S-SO₄⁼ mineralizado e lixiviado foi feita pelos procedimentos de BARDSLEY & LANCASTER (1965), com modificação de VITTI & SUZUKI (1978). O nitrogênio mineralizado (N-NH₄⁺ + NO₃⁻) foi determinado segundo BREMER (1965).

3.5.2. COLUNAS DE INCUBAÇÃO E LIXIVIAÇÃO

Como colunas de lixiviação utilizaram-se bisnagas para "CATCHUP", em posição vertical invertida, forrando-se à base do "bico" com lã de vidro (fibra média), uma tela plástica e novamente com uma camada de lã de vidro. Em seguida parafusou-se o "bico" ao frasco, cortando-se o fundo deste para introduzir as amostras de terra.

3.5.3. ADUBAÇÃO DAS AMOSTRAS DE TERRA E LIXIVIAÇÃO DO ENXOFRE E NITROGÊNIO MINERAL

Antes da introdução das amostras de terra nas colunas de lixiviação, adicionaram-se 150 ppm de P, 200

ppm de K, 40 ppm de Mg, 200 ppm de Ca (nos tratamentos sem calagem), 0,1 ppm de Mo, 0,5 ppm de B, 1,5 ppm de Cu e 5 ppm de Zn, empregando-se as mesmas substâncias da secção 2.4.4. Utilizaram-se 50 g de terra seca ao ar, peneirada em 1 mm, misturando-a com 50 g de sílica, com diâmetro de 2-3 mm. Após a introdução da mistura terra e sílica, cobriu-se a mistura com lâ de vidro. A seguir procedeu-se a primeira lixiviação com 100 ml de KCl 0,01M, a partir da qual se estabeleceu o "tempo zero" de incubação. As lixiviações subsequentes foram feitas com intervalos de duas semanas, até a décima semana, com uma lixiviação adicional na décima quarta semana. Após a lixiviação e sucção dos tubos, para deixar os solos incubando com tensão de umidade 60 cm de Hg, fez-se a filtração dos lixiviados com papel de filtro qualitativo, usando-se a mesma técnica descrita em 2.3.1. Tomaram-se alíquotas dos lixiviados para determinar o $S-SO_4^{=}$ e $N-(NH_4^+ + NO_3^-)$ mineralizados.

3.5.4. MINERALIZAÇÃO AERÓBICA DE $S-SO_4^{=}$ EM AMOSTRAS DE TERRAS MARCADAS COM ENXOFRE RADIOATIVO (^{35}S)

Paralelamente ao experimento de incubação aeróbia para estimar o $S-SO_4^{=}$ e $N-(NH_4^+ + NO_3^-)$ mineralizados instalou-se outra bateria de colunas de lixiviação, com

todos os tratamentos idênticos aos usados na secção 2.5.1. mais enxofre radioativo como traçador (^{35}S , livre de carregador na forma de $\text{H}_2^{35}\text{SO}_4$) com atividade inicial de $0,62134 \mu\text{Ci.g}^{-1}$ de terra no tempo "zero", isto é, por ocasião da primeira lixiviação.

Para a perfeita homogeneização do ^{35}S com as amostras de terra, passaram-se estas em peneira de 1mm, misturando o traçador (1 ml de $\text{H}_2^{35}\text{SO}_4$, diluído para atividade de $31,067 \mu\text{Ci/ml}$) com 5g de terra, em porções sucessivas até completar 50g por coluna.

A lixiviação seguiu a técnica usada na secção 3.5.3., até a décima semana de incubação.

Para a detecção de ^{35}S nos extratos com $\text{KCl } 0,01 \text{ M}$ em solução aquosa utilizaram-se os procedimentos de NASCIMENTO & LOBÃO (1977) para o preparo da solução cintiladora, uso de padrão interno, etc. Para superar o problema de cristalização ⁽¹⁾ da emulsão do TRITON X-100 (fornecido pela Central de Drogas do CNPq) adotou-se o procedimento de PATTERSON & GREEN (1965), usando-se para 1 ml do extrato em $\text{KCl } 0,01\text{M}$ 3 ml de etanol p.a. e 10 ml de solução cintiladora.

Os valores finais da atividade de ^{35}S em todos os lixiviados foram corrigidos para o tempo "zero" de incubação.

¹ Entende-se por cristalização a formação de solução leitosa, quando há contato da emulsão de TRITON X-100 com soluções aquosas.

3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA

3.6.1. EXPERIMENTO DE CASA-DE-VEGETAÇÃO

Utilizou-se um fatorial completo 2×3 , com ausência e presença de calagem, conforme recomendações constantes na tabela 3.1.: 3 doses de gesso (0, 20 e 40 ppm de S), 12 unidades de solo (tabela 1) e 3 repetições por tratamento. Agruparam-se os vasos por solo, com os tratamentos inteiramente casualizados dentro de cada solo. Semanalmente fez-se a rotação aleatória dos vasos para cada solo.

3.6.1.1. Análise da variância

A análise da variância fez-se individualmente para solo, por cultivo e de forma conjunta com todos os solos pelo SAS (1982). Na análise conjunta da produção de matéria seca (parte aérea do milho) e absorção de enxofre pela planta-teste procedeu-se ao ajuste do número de graus de liberdade do resíduo segundo COCHRAN (1952), para então se fazerem as comparações de médias.

3.6.1.2. Análise de correlação e regressão

Inicialmente, em caráter geral e exploratório fez-se a matriz de correlação entre os dados de análises dos solos e os de plantas para se selecionar as corre-

lações de maior interesse, conforme discriminadas na discussão dos resultados. As análises de correlação e regressão seguiram a metodologia usual (SAS, 1982), de forma separada para dados de solos e dados de plantas e de forma conjunta para dados de solos e plantas, por regressão múltipla ("stepwise"), agrupando-se os solos pelo teor de carbono, isto é, menores e maiores do que 1,2%.

3.6.1.2.1. Análise de correlação entre dados de solos

Correlacionaram-se os teores de C e S total, C/S e S_o (potencial de mineralização) dos solos. A evolução do teor de $S-SO_4^{=}$ disponível nos solos com função da calagem, incubação e cultivos é apresentada apenas na forma gráfica.

3.6.1.2.2. Análises de correlação e regressão entre dados de plantas

As análises de correlação e regressão para plantas efetuaram-se agrupando-se os solos pelos seus teores de carbono, isto é, menores e maiores do que 1,2% e por cultivo:

- a) regressões entre os teores de S total na planta e produção de matéria seca e absorção de enxofre;
- b) regressões entre as razões N/S e P/S e produção de matéria

ria seca e absorção de enxofre.

Para o S total nas plantas usou-se a regressão polinomial de segundo grau e para as razões N/S e P/S usou-se o modelo exponencial ($y = a.e^{bx}$), tomando-se como variável dependente a produção de matéria seca ou a absorção de enxofre pela planta-teste.

3.6.1.2.2. Análises de regressão entre dados de plantas e solos do experimento de casa-de-vegetação

As análises de regressão entre dados de solos e plantas foram feitas de forma isolada por cultivo e de forma conjunta, com os solos agrupados pelos teores de carbono.

3.6.1.3.2. Correlação e regressão entre os teores de carbono e S total nos solos, relação C/S

As análises de correlação e regressão entre os teores de carbono nos solos ao longo dos cultivos e absorção de enxofre pelo milho foi feita pelo modelo linear. Para o S total e a relação C/S são apresentados os coeficientes de correlação.

3.6.1.3.3. Análises de correlação e regressão entre dados de análises de terras e plantas para fins de calibração

As análises de correlação e regressão para prever a disponibilidade de enxofre e a calibração de análises químicas de $S-SO_4$ referem-se aos extratores arrolados nas secções 3.3.1., 3.3.2., 3.3.3. e 3.3.4. Os dados de $S-SO_4$ (para cada extrator) são relacionados com a produção absoluta e relativa de matéria seca e a absorção absoluta e relativa de enxofre pelo milho, usando-se os seguintes modelos:

a) Polinomial de 2º grau;

b) $y = a + bx + c.1/x$.

Para a calibração das análises químicas de $S-SO_4$ disponível e determinação dos níveis críticos de $S-SO_4$ nos solos pelos extratores das secções 3.3.1., 3.3.2., 3.3.3. e 3.3.4. transformaram-se os valores absolutos de produção de matéria seca e absorção de enxofre pela parte aérea do milho para valores relativos a partir de curvas de resposta à adubação com enxofre. Quando as equações mostraram máximos de produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho (y), dentro da faixa dos níveis de enxofre estudados (0, 20 e 40 ppm de S), esses valores foram tomados como denominadores das relações

$$\text{Produção relativa} = \frac{\text{Produção observada}}{\text{Produção máxima estimada}} \times 100$$

$$\text{e Absorção relativa} = \frac{\text{Absorção observada}}{\text{Absorção máxima estimada}} \times 100 .$$

A produção de matéria seca e a absorção de enxofre máximas foram estimadas isoladamente para cada solo e para cada cultivo, na ausência e presença de calagem. Quando as equações de regressão acusaram máximos fora da faixa das doses de enxofre estudado, tomou-se como denominador para a relação o valor máximo de produção de matéria seca para cada solo e cada cultivo, separadamente. Empregou-se o mesmo procedimento para estimar a absorção relativa de enxofre pelo milho.

3.6.2. EXPERIMENTO DE LABORATÓRIO

3.6.2.1. Mineralização aerôbia de enxofre e nitrogênio

Utilizaram-se amostras de terra previamente incubadas do experimento de casa-de-vegetação, isto é, ausência e presença de calagem com 3 repetições por tratamento.

A avaliação estatística dos dados experimentais (N e S mineralizados), foi feita considerando-se os valores acumulados, a partir da 2ª lixiviação. Para esti-

mar os potenciais de mineralização (N_o e S_o), usou-se a equação hiperbólica (STANFORD & SMITH, 1972; JUM Aet alii, 1984).

$$y = \frac{y_o \cdot t}{b \cdot y_o + t} \quad (1)$$

onde:

y = N ou S cumulativamente mineralizado a partir do tempo "zero" de incubação ($\mu\text{g N ou S.g}^{-1}$ solo);

y_o = N ou S potencialmente mineralizável (N_o e S_o);

t = tempo (semanas);

b = constante (semanas $\cdot \mu\text{g N ou S.g}^{-1}$ solo) $^{-1}$;

T_c = tempo necessário para mineralizar a metade do N_o ou S_o potencialmente mineralizável.

A constante b pode ser escrita sob a forma:

$$b = T_c/N_o \quad \text{ou} \quad b = T_c/S_o$$

Então, $y = \frac{y_o \cdot t}{T_c + t} \quad (2).$

Para o cálculo da equação hiperbólica utilizou-se o algoritmo computacional iterativo idealizado por BORATTO (1984).

3.6.2.2. Avaliação dos dados de mineralização aeróbia de enxofre dos solos via diluição isotópica do ^{35}S

Fez-se apenas a análise gráfica dos dados de atividade específica do ^{35}S dos lixiviados obtidos ao longo do período de incubação.

3.6.2.3. Análise de regressão entre os valores estimados do potencial de mineralização de enxofre (S_o) versus absorção de enxofre pelo milho

A relação entre os valores estimados de potenciais de mineralização de enxofre (S_o) dos solos versus absorção (absoluta e relativa) de enxofre pelo milho foi feita por regressão linear simples.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. RESULTADOS DE ANÁLISE DE TERRA

4.1.1. TEORES DE CARBONO, NITROGÊNIO E ENXOFRE TOTAIS EM AMOSTRAS DE TERRAS NÃO TRATADAS

Os resultados de análises de terra para carbono e nitrogênio estão listadas como médias de três repetições na tabela 4.1. As determinações analíticas apresentaram ótima repetibilidade. O mesmo não ocorre com as determinações do enxofre total dos solos apresentando desvios consideráveis, como se observa na tabela 4.1. O método de digestão nitroperclórica, de CHAPMAN & PRATT (1961) apresenta sérios problemas para a determinação do S total nos solos, por causa das perdas por volatilização, provenientes das frações inorgânicas e orgânicas de enxofre reduzido. Melhores resultados têm sido obtidos com a adaptação de HESSE (1972) para análises de solos. Nesse método a amostra é refluída com ácido nítrico e os fumos conduzidos através de um segundo condensador para dentro de água bromada. Com adição posterior de água oxigenada o destilado é retornado ao frasco de digestão, evaporado até secagem total e então determinado o sulfato no resíduo. Nas análises da tabela 4.1. o coeficiente de variação mostrou u

Tabela 4.1.- Teores de enxofre total dos solos obtidos por digestão nitroperclórica e determinação gravimétrica.

Solo (local)	Teores de enxofre total (%)					
	Repetições			Média	Desvio padrão	C.V. (%)
	1	2	3			
Anhembi	0,00948	0,01154	0,01300	0,01134	0,00177	15,6
São Pedro	0,01387	0,01566	0,01277	0,01410	0,00146	10,3
Assis	0,00948	0,01154	0,01030	0,01044	0,00104	10,0
Piraçununga-1	0,01113	0,01168	0,01030	0,01136	0,00029	2,5
Piraçununga-2	0,02267	0,02363	0,02060	0,02230	0,00155	6,9
Botucatu-1	0,01882	0,01841	0,02088	0,01937	0,00320	16,5
Botucatu-2	0,02995	0,02940	0,03283	0,03073	0,00184	6,0
Matão	0,02596	0,02344	0,02376	0,02439	0,00137	5,6
Catalão	0,02376	0,02624	0,02789	0,02596	0,00208	8,0
S.S.Paraíso-1	0,00659	0,00865	0,00824	0,00782	0,00109	13,9
S.S.Paraíso-2	0,01497	0,01154	0,01456	0,01369	0,00187	13,6
Rio Paranaíba	0,02919	0,03480	0,03189	0,03193	0,00285	8,9

ma amplitude de 2,5 a 16,5%. Dentre os métodos citados por HESSE (1972), a fusão com peróxido de sódio e nitrato de magnésio, este preparado com magnésio "Specpure", foi usada por BUTTERS & CHENERY (1959), que obtiveram resultados reproduzíveis de S total nos solos, com coeficiente de variação de 3,1%.

4.1.2. TEORES DE CARBONO, pH, P, Ca, Mg E H + Al NAS AMOSTRAS SUBMETIDAS À INCUBAÇÃO E A DOIS CULTIVOS COM MILHO NA AUSÊNCIA E PRE- SENÇA DE CALAGEM

Os solos utilizados no experimento variam significativamente em suas características gerais, tais como, os teores de argila (8,1 a 60,2%), carbono (0,50 a 3,03%), pH e saturação de bases. Isso tem como consequência necessidades de calagem, variando de 0,374 a 4.400 t/ha, excluindo-se a quantidade adicional que foi usada para neutralizar a acidez fisiológica da uréia usada na adubação de cobertura.

Na tabela 4.2. observa-se a evolução do pH, dos teores de carbono, P, K, Ca, Mg e H+Al, em função da incubação, de dois cultivos dos solos, na ausência e presença de calagem.

O decréscimo dos teores de carbono já se tornam evidentes após a incubação, sem mesmo terem sido cultivados. Nos solos de textura média a arenosa, a calagem praticamente não teve influência na oxidação da matéria orgânica. Nos solos de textura mais argilosa no entanto, a calagem aumentou a mineralização da matéria orgânica. BRAR & GIDDENS (1968) consideram que a acidez e, principalmente o alumínio trocável inibem a mineralização da matéria orgânica. Este fato já foi observado por BOHNEN (1970) e KLIE-MANN (1973) em solos do Rio Grande do Sul, em que a calagem aumentou significativamente a absorção de nitrogênio

Tabela 4.2 - Resultados de análises de amostras de terra coletadas na dose de 40 ppm S (médias de 3 repetições.

Solo	Calagem	pH em água				P - ppm				K - meq/100 g				Ca - meq/1.00 g			
		A (2)															
		B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
Anhembi	s/ (1) c/	5,4	5,1	5,1	6	7	107	158	0,22	0,26	0,19	0,09	1,30	1,28	1,14	0,92	
		-	6,6	5,8	-	5	88	146	-	0,23	0,09	0,07	-	2,08	2,04	1,56	
São Pedro	s/ c/	5,0	5,3	5,2	5	5	99	92	0,12	0,10	0,13	0,07	1,42	1,44	1,00	0,80	
		-	6,4	5,8	-	5	95	92	-	0,10	0,09	0,04	-	1,80	1,32	0,80	
Assis	s/ c/	4,6	4,7	4,8	11	10	86	133	0,03	0,03	0,08	0,14	0,64	0,64	0,52	0,32	
		-	5,9	5,5	-	10	83	142	-	0,04	0,05	0,12	-	1,20	0,80	0,42	
Piraçununga-1	s/ c/	5,6	5,4	4,8	1	1	62	113	0,03	0,04	0,08	0,05	0,44	0,44	0,44	0,40	
		-	7,2	6,6	-	2	57	92	-	0,03	0,08	0,05	-	1,68	1,12	0,80	
Piraçununga-2	s/ c/	5,2	5,5	5,0	4	1	35	80	0,05	0,05	0,03	0,06	0,74	0,74	0,68	0,28	
		-	6,8	6,2	-	1	39	69	-	0,05	0,05	0,04	-	2,08	0,96	0,52	
Botucatu-1	s/ c/	4,7	4,9	4,9	3	5	98	129	0,14	0,14	0,10	0,04	1,14	1,16	1,04	0,60	
		-	6,2	6,1	-	4	74	131	-	0,16	0,07	0,06	-	2,24	1,40	1,16	
Botucatu-2	s/ c/	5,1	5,1	5,5	6	5	39	80	0,36	0,33	0,18	0,10	4,22	4,24	3,94	3,96	
		-	6,0	6,0	-	6	43	68	-	0,34	0,21	0,08	-	5,32	4,96	4,52	
Matão	s/ c/	6,0	5,8	5,9	3	3	46	82	0,20	0,20	0,12	0,12	2,26	2,24	2,00	1,96	
		-	6,6	6,3	-	3	36	80	-	0,20	0,12	0,08	-	2,80	2,00	2,04	
Catalão	s/ c/	4,1	4,4	5,0	8	7	34	46	0,10	0,19	0,07	0,06	0,50	0,56	0,36	0,32	
		-	6,0	6,3	-	7	22	40	-	0,17	0,08	0,06	-	3,48	2,44	2,32	
São Sebastião do Paraíso-1	s/ c/	5,6	5,4	5,8	1	1	21	41	0,17	0,17	0,08	0,08	2,70	2,72	2,20	2,08	
		-	6,2	6,2	-	1	23	34	-	0,16	0,08	0,08	-	3,76	2,80	2,64	
São Sebastião do Paraíso-2	s/ c/	5,4	5,4	5,9	2	2	13	20	0,12	0,08	0,08	0,05	1,40	1,72	1,44	1,32	
		-	6,6	7,0	-	2	14	20	-	0,08	0,08	0,05	-	3,64	2,56	2,60	
Rio Paranaíba	s/ c/	5,1	4,9	5,8	2	1	6	13	0,09	0,09	0,08	0,08	0,32	0,62	0,52	0,32	
		-	6,8	7,0	-	-	5	12	-	0,10	0,07	0,08	-	3,60	2,96	3,04	

(cont.)

Tabela 4.2 - Resultados de análises de amostras de terra coletadas na dose de 40 ppm S (médias de 3 repetições).

Solo	Calagem	Mg -meq/100 g				H+Al -meq/100 g				Carbono - %			
		(2)											
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Anhembi	s/ (1)	0,66	0,68	0,58	0,44	3,72	3,07	5,77	6,20	0,99	0,85	0,74	0,62
	c/	-	1,80	1,40	0,76	-	1,23	4,83	5,38	-	0,81	0,76	0,62
São Pedro	s/	0,50	0,52	0,40	0,30	1,33	2,30	3,73	4,75	0,85	0,75	0,59	0,55
	c/	-	0,96	0,64	0,52	-	0,82	3,45	4,89	-	0,73	0,62	0,51
Assis	s/	0,08	0,08	0,28	0,16	2,13	2,69	4,78	4,66	0,50	0,33	0,29	0,29
	c/	-	0,80	0,32	0,32	-	0,86	4,02	4,45	-	0,33	0,29	0,22
Piracununga-1	s/	0,14	0,16	0,16	0,32	3,72	2,32	3,77	5,32	1,10	0,91	0,91	0,88
	c/	-	1,04	0,76	0,56	-	0,82	1,99	4,44	-	0,92	0,82	0,73
Piracununga-2	s/	0,08	0,08	0,08	0,12	3,57	3,46	4,18	5,95	0,79	0,84	0,76	0,76
	c/	-	1,84	0,96	0,52	-	1,76	2,57	4,75	-	0,84	0,76	0,76
Botucatu-1	s/	0,46	0,48	0,36	0,28	3,72	3,56	4,30	4,59	1,48	0,80	0,76	0,65
	c/	-	1,08	0,72	0,48	-	1,48	1,80	4,71	-	0,82	0,76	0,69
Botucatu-2	s/	0,94	0,92	1,16	0,92	5,51	5,99	6,45	9,15	1,87	1,68	1,60	1,60
	c/	-	2,04	1,84	1,76	-	4,32	5,06	8,80	-	1,66	1,57	1,43
Matão	s/	1,00	1,04	0,72	0,76	1,98	2,29	2,82	6,41	1,51	1,39	1,29	1,29
	c/	-	1,52	1,30	0,92	-	1,27	1,58	4,71	-	1,29	1,21	1,21
Catalão	s/	0,50	0,52	0,20	0,16	8,29	8,98	9,03	10,94	2,48	2,40	2,34	2,24
	c/	-	2,20	1,76	1,56	-	4,10	4,61	5,44	-	2,29	2,28	2,13
São Sebastião do Paraíso-1	s/	0,76	0,80	0,68	0,52	4,09	4,44	4,94	5,41	1,90	1,87	1,72	1,60
	c/	-	1,72	1,56	1,16	-	2,17	3,11	4,35	-	1,56	1,49	1,37
São Sebastião do Paraíso-2	s/	0,42	0,40	0,32	0,32	5,04	4,13	4,81	4,92	1,61	1,41	1,34	1,32
	c/	-	1,48	1,40	1,04	-	2,21	2,90	2,89	-	1,34	1,26	1,22
Rio Paranaíba	s/	0,30	0,30	0,16	0,24	8,12	9,14	7,68	7,73	3,03	2,63	2,56	2,50
	c/	-	2,22	2,16	1,96	-	3,02	3,73	4,05	-	2,53	2,38	2,38

(1) Ausência (s/) e presença (c/) de calagem, conforme recomendações.

(2) Amostras analisadas antes do experimento (A), após a incubação (B), após o primeiro cultivo (C) e após o segundo cultivo (D).

nativo. Na secção 4.2. ver-se-á que a calagem modifica substancialmente os potenciais de mineralização de nitrogênio e enxofre em solos com maiores teores de carbono.

Os teores de fósforo disponível aumentaram em função das quantidades adicionadas: 200 ppm de P adicionadas antes do primeiro cultivo e 2/3 da mesma quantidade no segundo. Observa-se que nos solos mais arenosos elevou-se o fósforo disponível a níveis extremamente altos, não ocorrendo o mesmo com os solos mais argilosos, principalmente, os solos provenientes de Catalão (GO), São Sebastião do Paraíso-2 (MG) e Rio Paranaíba (MG), da região dos cerrados. Segundo ALMEIDA NETO & BRASIL SOBR? (1977), os solos de cerrado possuem alta capacidade de fixação de fósforo, o que diminui a potência de extração dos extratores de fósforo. Para os solos arenosos, no entanto, altas adubações fosfatadas tem implicações sérias na disponibilidade, lixiviação e adsorção do enxofre. O fosfato, sendo um forte deslocador de ânions, segundo METSON & BLAKEMORE (1978) e JENSEN (1963) provoca a lixiviação do sulfato, tornando-se impossível, à semelhança do N, construir níveis de reserva do elemento em solos arenosos, em condições de campo.

A reação do solo (pH e teores de H e Al) e bases trocáveis (K, Ca e Mg) são profundamente alteradas por efeito dos cultivos e da calagem. Na tabela 4.2, observa-se que a calagem aumenta os níveis de Ca e Mg e diminui os níveis de H e Al. Porém, com os cultivos dos solos

ocorre um esgotamento progressivo de cálcio e magnésio e o aumento do H e Al. Nas amostras de terra analisadas após o segundo cultivo, no entanto, a diferença entre os níveis de Ca, Mg, H e Al é ainda significativo, comparando-se os tratamentos com e sem calagem. Na secção 4.9. ver-se-á, na análise de variância conjunta e de regressão múltipla a contribuição dos teores de Ca, Mg e H+Al nos solos, como parâmetros estimadores da produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho.

O esgotamento do potássio por efeito dos cultivos generalizou-se em todos os solos, mesmo com as quantidades (acumuladas) de 530 ppm de K adicionadas nos dois cultivos. Segundo SILVA & RITCHE (1982) os cultivos sucessivos, a exportação e a lixiviação tendem a esgotar rapidamente, em condições de alta produtividade, as reservas do potássio dos solos de cerrados. Em solos da África Oriental com altas precipitações e altas adubações nitrogenadas quatro ou cinco cultivos sucessivos levam ao esgotamento das reservas de potássio (ANDERSON, 1973). Nas condições desse experimento os baixos níveis de potássio verificados após dois cultivos exaustivos, justificam-se pela alta adubação nitrogenada e pela completa remoção do sistema radicular e da parte aérea das amostras de solos.

4.1.3. EVOLUÇÃO DOS TEORES DE ENXOFRE ($S-SO_4^-$) DISPONÍVEL EM FUNÇÃO DA INCUBAÇÃO, DOS CULTIVOS, NA AUSÊNCIA DE CALAGEM

A evolução dos teores de enxofre ($S-SO_4^-$) disponível pelos diversos extratores estão listados na tabela 4 do apêndice. Para a melhor visualização do quadro, os dados de análises de terra para enxofre disponível foram plotados contra as épocas de amostragem, isto é, após a incubação, após o primeiro cultivo e após o segundo cultivo, como se observa pelas figuras 4.1. 4.1.2. e 4.1.3.

De um modo geral, a presença da calagem disponibilizou quantidades ligeiramente maiores de $S-SO_4^-$ em relação à ausência. A calagem dos solos ácidos, com propriedades de retenção de sulfatos, tem capacidade para desorver certa quantidade de sulfato retido. O efeito da calagem pode ser encarado como sendo um efeito direto do pH ou como o deslocamento do SO_4^- por grupos OH^- (HARWARD & REISENAVER, 1966; AYLMOORE & KARIM, 1968). No presente trabalho verificaram-se razoáveis diferenças entre as quantidades de $S-SO_4^-$ extraídos por $CaCl_2$ 0,15%, NH_4OAc 0,5N e $Ca(H_2PO_4)_2$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N. Na figura 4.1.3. nota-se que a calagem altera significativamente as quantidades extraídas de $S-SO_4^-$ pelo $CaCl_2$ 0,15%, principalmente nos solos de cerrados, mais argilosos, como Catalão, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba. O extrator $CaCl_2$ 0,15% é considerado, segundo ESMINGER & FRENEY (1966) e

Figura 4.1.1. - Evolução dos teores de enxofre disponível (S-SO₄), extraído por Ca(H₂PO₄)₂.H₂O - 500 ppm P em ácido acético 2,0N em função da ausência (—) e presença (---) de calagem e doses de gesso de 0(●), 20(+) e 40(o) ppm de S, em amostras colhidas após incubação (A), após o primeiro cultivo (B) e após o segundo cultivo (C).

Figura 4.1.2. - Evolução dos teores de enxofre disponível ($S-S_4^{=}$), extraído por NH_4HOAc 0,5N em ácido acético 0,25N, em função da ausência (—) e presença (---) de calagem e das doses de gesso de 0 (●), 20 (+) e 40 (o) ppm de S, em amostras colhidas após a adubação (A), após o primeiro cultivo (B) e após o segundo cultivo (C).

Figura 4.1.3 - Evolução dos teores de enxofre disponível ($S-SO_4^{2-}$), extraído por $CaCl_2$ 0,15%, em função da ausência (—) e presença (---) de calagem e das doses de gesso de 0 (●), 20 (+) e 40 (o) ppm de S, em amostras colhidas após a incubação (A), após o primeiro cultivo (B) e após o segundo cultivo (C).

REISENAUER et alii (1973), de baixo poder de extração, não conseguindo deslocar o $S-SO_4^{=}$ adsorvido. Por isso, o decréscimo na retenção de sulfato pelos solos via calagem deve ser responsabilizada pela maior extração de enxofre disponível (PROBERT, 1976). Por outro lado, WILLIAMS & STEINBERGS (1964) atribuíram a maior absorção de enxofre pelas plantas à mineralização do S-orgânico.

As diferentes capacidades de dessorção de $S-SO_4^{=}$ dos solos por diversos extratores baseia-se na teoria de adsorção de ânions, desenvolvidas por HINGSTON et alii (1972). Na adsorção não específica os ânions balanceadores das cargas positivas das superfícies dos óxidos de ferro e alumínio são vistos como ocorrendo apenas na camada externa de Helmholtz. Esses ânions, como NO_3^- e Cl^- são adsorvidos e dessorvidos numa proporção simples de sua concentração. Os ânions especificamente adsorvidos, como $H_2PO_4^-$, $HPO_4^{=}$, F^- , e $MoO_6^{=}$, por causa da sua forte afinidade com as superfícies dos óxidos, são adsorvidos, independentemente da sua concentração. Como a reação de adsorção é não reversível, os íons especificamente adsorvidos não são trocáveis, a sua liberação da superfície sólida é governada por princípios de produtos de solubilidade e as concentrações de equilíbrio em solução são muito baixas (KINJO & PRATT, 1971; MEKARU & UEHARA, 1972). RAIJ (1986) considera que em muitos casos, o $SO_4^{=}$ é um íon indiferente (não adsorvido especificamente). No presente trabalho, com a maior extração de $S-SO_4^{=}$ por $CaCl_2$ 0,15%, na presença de ca

lagem, é possível que o $S-SO_4^-$ esteja se comportando como um íon indiferente por causa da sua liberação das superfícies dos óxidos de ferro e alumínio.

Para a remoção de sulfatos solúveis mais os adsorvidos de solos fortemente retentivos, ânions como o fosfato, o fluoreto e hidroxilas são requeridos. Aí se torna implícita a vantagem do fosfato sobre o sulfato, nos métodos comumente utilizados para extrair sulfatos adsorvidos (BARROW, 1967; BROMFIELD, 1972). Pela figura 4.1.1. verifica-se que nos solos mais argilosos como Catalão e São Sebastião do Paraíso-2, a calagem teve significativa influência na extração de $S-SO_4^-$ pelo extrator $Ca(H_2PO_4)_2$ 500 ppm P. No entanto, a extração de $S-SO_4^-$ no solo Rio Paranaíba, é sensivelmente diminuída, apesar de ainda maior na presença de calagem. METSON (1979) considera que a forte afinidade de alguns solos por fosfatos, removem rapidamente o fosfato da solução durante a extração do sulfato, reduzindo a concentração e eficiência do extrator. Em tais casos recomenda-se o uso de uma relação extrator:solo mais larga, por exemplo, 20:1, como é proposto por SEARLE (1979).

Entre os extratores que extraem o sulfato solúvel e o adsorvido existem as soluções neutras de fosfatos e as soluções de acetato de amônio. No presente trabalho o extrator NH_4OAc 0,5N pH 5,0 extraiu quantidades iguais de $S-SO_4^-$, não ocorrendo diferenças significativas em função da calagem. Um aspecto digno de nota é a constatação de ESMINGER (1954) de que o pH do extrator acetato de

amônio teve pouco efeito na remoção do enxofre numa faixa de 4,8 a 7,0.

Os teores de $S-SO_4^{=}$ disponível estimados pelos três extratores são sensivelmente maiores em todos os solos estudados, na presença de calagem após a incubação. A exportação do enxofre é evidente em todos os solos: em alguns casos, os teores de $S-SO_4^{=}$ disponível após o segundo cultivo são mais baixos nos tratamentos com calagem do que na sua ausência. Ver-se-ão, na secção 4.4. as interações entre calagem, gesso e cultivos na produção de matéria seca e adsorção de enxofre, justificando o esgotamento do enxofre, mesmo no nível mais elevado de adubação (40 ppm S). Considerando-se o extrator $CaCl_2$ 0,15%, os teores de $S-SO_4^{=}$ disponível mostraram ainda diferenças significativas, quando comparados os tratamentos sem e com calagem. Dados de KAMPRATH et alii (1956) e MARTINI & MUTTERS (1984) mostram que com a calagem, tanto em condições de estufa como de campo, há redução substancial de sulfatos nos solos através dos cultivos e da calagem.

4.1.4. PROBLEMAS DE EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO ANALÍTICA DE $S-SO_4^{=}$ DOS SOLOS RELACIONADOS COM O DESEMPENHO DOS EXTRATORES

Conforme relatado na secção 2.3., o $S-SO_4^{=}$ extraído foi determinado por turbidimetria. De acordo com BARDSLEY & LANCASTER (1965) é essencial que os extratos es

tenham absolutamente límpidos, sem o que está seriamente comprometida a linearidade da curva de calibração. Assim, para obter extratos que preencham essa condição, procedeu-se a sua filtração, conforme detalhado secção 3.3. Por causa do elevado custo do papel de filtro quantitativo, de filtragem lenta, fizeram-se, simultaneamente, as curvas de calibração para os quatro extratores estudados, com papel filtro quantitativo de filtragem lenta e com papel qualitativo de filtragem rápida. Os parâmetros das curvas de calibração de $S-SO_4^{=}$ para os extratores em estudo estão listados na tabela 4.3. Verifica-se que a técnica empregada para a lavagem dos sulfatos do papel filtro qualitativo é adequada, pois os interceptos e os coeficientes angulares das equações de regressões para cada extrator em particular, não diferem significativamente entre si. Assim, o papel filtro qualitativo pode substituir o quantitativo, com menores custos e sem prejuízo para a exatidão dos resultados analíticos de enxofre-sulfato disponível nos solos.

Independentemente do papel de filtro utilizado, a limpidez dos extratos (observação visual) apresentam sensíveis diferenças entre extratores.

Os extratores NH_4OAc 0,5N pH 5,0 e $Ca(H_2PO_4)_2$ 500 ppm de ácido acético em $HOAc$ 2,0N não apresentaram extratos límpidos sem adição do carvão ativado, optando-se, então, pelo seu uso sistemático em todas as extrações. WILLIAMS & STEINBERGS (1964) concluíram que a secagem e o armazenamento aumentam de 0 a 12,1 ppm de $S-SO_4^{=}$ extraível em KH_2PO_4 . PEVERILL et

Tabela 4.3 - Parâmetros das curvas de calibração de $S-SO_4^{=}$ para os extratores NH_4OAc 0,5N em $HOAc$ 0,25N, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ 500 ppm P em $HOAc$ 2,0N e $CaCl_2$ 0,15% e HCl 0,05M¹.

Extrator	Papel de filtro					
	Qualitativo			Quantitativo		
	a	b	r	a	b	r
NH_4OAc 0,5N	0,0071	0,0008040	0,9991	0,00705	0,0008	0,9983
$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ 500 ppm P	0,0086	0,0005758	0,9954	0,00839	0,0006057	0,9941
$CaCl_2$ 0,15%	0,0062	0,000797	0,9990	0,00604	0,000798	0,9993
HCl 0,05M	0,0094	0,000791	0,9983	0,00816	0,000793	0,9989

¹ Os parâmetros das curvas de calibração foram calculadas a partir da média de três repetições por ponto da curva.

alii (1974) conseguiram reduzir a níveis insignificantes essas variações com o emprego do carvão ativado. Todavia, durante o decurso desse experimento, testaram-se diversas marcas de carvão ativado. A avaliação (qualitativa) do teor de $S-SO_4^{=}$ mostrou que seria aconselhável a lavagem do material com HCl diluído até que o teste de $S-SO_4^{=}$ se mostrasse negativo.

Com o uso do extrator $CaCl_2$ 0,15% não se fez necessário o emprego do carvão ativado para obtenção de extratos límpidos, após 2 a 3 filtrações sucessivas dos extratos. O extrator HCl 0,05M mostrou comportamento bem di-

verso: os extratos obtidos, com ou sem carvão ativado não se apresentaram límpidos para determinações turbidimétricas de $S-SO_4^-$. Os extratos se apresentaram mais turvos nos latossolos de textura arenosa a média, como Assis, Piraçununga-2, Botucatu-1 e Matão. As baixas correlações obtidas entre produção de matéria seca (e absorção de enxofre) do milho versus $S-SO_4^-$ extraído por HCl 0,05M (tabela 4.4), justificam-se pelos problemas apresentados na extração, embora, as correlações entre o $S-SO_4^-$ extraível por HCl 0,05M versus absorção de S (e produção de matéria seca) pelo milho sejam estatisticamente significativas, por solo e por cultivo isolados. De forma conjunta, se constatou associação apenas nos solos com teor de carbono inferior 1,2% ($r=0,376$) e a ausência total de associação nos solos com carbono superior a 1,2% ($r=-0,033$).

4.2. MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E ENXOFRE POR INCUBAÇÃO ABERTA, NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE CALAGEM

Os primeiros estudos sobre mineralização de N e S foram projetados para serem usados como métodos rápidos de predição da disponibilidade de N e S para as plantas. Devido a sua íntima relação nos processos biológicos, assumia-se que os índices relativos de mineralização de N e S seriam semelhantes, isto é, seriam mineralizados na mesma razão em que ocorrem na matéria orgânica (WHITE, 1959).

Tabela 4.4 - Matriz de coeficientes de correlação linear simples entre absorção de enxofre versus extratores de $S-SO_4^{2-}$ disponível nos solos, entre produção de matéria seca versus extratores e entre os próprios extratores.

Variáveis	1º Cultivo				2º Cultivo				Conjunta (dois cultivos)			
	$x_1^{(1)}$	$x_2^{(1)}$	$x_3^{(1)}$	$x_4^{(1)}$	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1	x_2	x_3	x_4
Absorção de S	n ⁽³⁾ = 18				n = 18				n = 18			
Solos:												
Anhembi	0,420	0,371	0,408	0,008	0,907	0,897	0,912	0,601	0,688	0,672	0,737	-0,242
São Pedro	0,821	0,739	0,824	0,777	0,788	0,716	0,747	0,611	0,911	0,759	0,738	-0,065
Assis	0,937	0,947	0,963	0,889	0,723	0,506	0,553	0,638	0,916	0,926	0,948	0,235
Piraçununga-1	0,785	0,815	0,820	0,686	0,817	0,867	0,903	0,430	0,664	0,752	0,771	-0,163
Piraçununga-2	0,790	0,904	0,931	0,314	0,888	0,833	0,825	0,432	0,776	0,874	0,854	-0,039
Botucatu-1	0,111	-0,048	-0,138	-0,257	0,909	0,884	0,831	0,566	0,599	0,525	0,480	0,231
Botucatu-2	0,740	0,626	0,555	-0,256	-0,119	-0,106	0,365	0,319	0,452	0,368	0,518	-0,009
Matão	0,516	0,486	0,531	0,373	0,771	0,661	0,389	0,104	0,713	0,743	0,714	-0,455
Catalão	0,914	0,784	0,581	-0,306	0,695	0,728	0,715	0,615	0,799	0,729	0,791	0,182
São Sebastião do Paraíso-1	0,831	0,707	0,888	-0,160	0,776	0,871	0,868	0,152	0,735	0,654	0,851	-0,404
São Sebastião do Paraíso-2	0,362	0,308	0,415	0,064	0,776	0,963	0,806	-0,042	0,558	0,606	0,599	0,514
Rio Paranaíba (2)	0,402	0,504	0,800	0,131	0,873	0,723	0,632	0,337	0,682	0,671	0,769	0,111
Solos:												
C1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,754	0,743	0,686	0,376
C2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,642	0,612	0,531	0,033
Extratores:												
x_1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	0,867	0,759	0,512
x_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	0,815	0,561
x_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	0,239
x_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000
Matéria Seca:												
Solos:												
Anhembi	0,268	0,230	0,269	-0,196	0,857	0,925	0,918	0,883	0,490	0,512	0,559	0,195
São Pedro	0,618	0,544	0,594	0,588	0,770	0,710	0,666	0,523	0,611	0,589	0,601	0,365
Assis	0,667	0,544	0,504	0,553	0,667	0,544	0,504	0,553	0,756	0,697	0,808	0,124
Piraçununga-1	0,478	0,005	-0,100	-0,351	0,801	0,729	0,819	0,553	0,453	0,333	0,332	0,015
Piraçununga-2	0,684	0,663	0,735	0,157	0,731	0,571	0,557	0,375	0,567	0,530	0,497	0,074
Botucatu-1	0,189	-0,192	-0,212	-0,281	0,911	0,561	0,761	0,724	0,286	0,123	0,034	0,057
Botucatu-2	0,388	0,155	0,144	-0,067	-0,244	-0,230	0,335	0,209	-0,088	-0,150	0,150	0,039
Matão	-0,098	-0,098	-0,093	-0,140	0,696	0,588	0,391	0,111	0,269	0,291	0,150	-0,008
Catalão	0,789	0,615	0,696	-0,495	0,670	0,630	0,604	0,540	0,118	0,128	-0,099	0,217
São Sebastião do Paraíso-1	0,688	0,624	0,851	-0,082	0,722	0,804	0,779	0,235	0,605	0,558	0,539	-0,009
São Sebastião do Paraíso-2	0,721	0,458	0,492	0,081	0,861	0,853	0,670	0,030	0,463	0,327	0,186	-0,215
Rio Paranaíba	0,543	0,395	0,573	0,153	0,885	0,776	0,603	0,350	0,539	0,247	0,332	0,035

(1) Extratores de $S-SO_4^{2-}$ disponível nos solos: x_1 - acerato de amônio 0,5N em ácido acético 0,25N; x_2 - $Ca(H_2PO_4)_2$. H_2O - 500 ppm P em ácido acético 2,0N; x_3 - $CaCl_2$ 0,15N; x_4 - HCl 0,05N.

(2) Solos C1,2 e C2,2 com teores de C menores e maiores que 1,2%, respectivamente.

(3) Níveis de significância de r ($P < 0,01$) e r ($P < 0,05$), respectivamente:

- n = 18 pares de dados - $r > 0,575$; $r > 0,456$
- n = 36 pares de dados - $r > 0,418$; $r > 0,325$
- n = 215 pares de dados - $r > 0,181$; $r > 0,0138$

Nas figuras 4.2. (a-g) e na tabela 4.5. encontra-se a evolução dos teores de N e S mineralizados (cumulativamente) e os parâmetros das equações hiperbólicas (STANFORD & SMITH, 1972) e os tempos necessários (meia vida) para estimar as metades do enxofre ($1/2 S_0$) e nitrogênio ($1/2 N_0$) potencialmente mineralizáveis nos solos São Pedro, Assis, Piraçununga-1, Matão, Catalão, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba. Verifica-se que a mineralização de N e S se processa em razões bastante diferentes, principalmente quando se analisa o efeito da calagem. Nos solos de baixos teores de carbono e de textura arenosa a média (São Pedro, Assis e Matão) a calagem praticamente não alterou o tempo necessário para mineralizar a metade de N e S potencialmente mineralizáveis. Nos solos mais argilosos (Catalão, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba) os potenciais de mineralização são substancialmente modificados pela calagem. Isto indica que esses solos tem um estoque de N e S capaz de ser fornecido às plantas, desde que sejam removidas as condições de acidez, que impedem a sua pronta mineralização. Os potenciais, calculados para N e S mostram que os dois elementos não se mineralizam na mesma razão dos seus teores originalmente existentes nos solos (veja tabelas 3.1. e 4.5.). MAYNARD et alii (1983) igualmente observaram que a mineralização de N e S em proporções diversas: as razões $N-NO_3^- / S-SO_4^{=}$ mineralizados por incubação aberta e fechada foram diferentes daquelas razões do N orgânico / S orgânico da matéria orgânica dos so-

Figura 4.2 - Efeitos da incubação aberta e da calagem nas quantidades acumuladas de enxofre ($S-SO_4^{2-}$) e nitrogênio ($N-NH_4^+ + NO_3^-$) mineralizados em função do tempo.

los.

Existem vários modelos matemáticos que podem ser usadas para estimar o N e o S cumulativamente mineralizados em função do tempo (TABATABAI & AL-KHAF AJI, 1980; STANFORD & SMITH, 1972; MOLINA et alii, 1980; JUMA et alii, 1984). O potencial de mineralização (N_0) estimado pelos modelos hiperbólico e exponencial de primeira ordem são considerados estimadores pobres para o rendimento de culturas e absorção de N. JUMA et alii (1984) verificaram que ambos os modelos estimam corretamente o N mineralizado durante 14 semanas de incubação, porém o N potencialmente mineralizável e a meia-vida do N mineralizável são dependentes do modelo usado. LINDEMANN & CARDENAS (1984) obtiveram valores muito variáveis para k, nos diferentes solos estudados para o modelo exponencial simples. MOLINA et alii (1980) sugeriram que a mineralização de N deve ser vista como a decomposição de dois ou mais compostos com variáveis índices de mineralização, valendo-se de modelos estimadores de N mineralizável como sendo a soma de dois ou mais exponenciais para alguns solos. Com o modelo de duplo exponencial, o ajustamento obtido por LINDEMANN & CARDENAS (1984) aos dados de observação foi mais preciso.

Nas condições desse experimento, o modelo hiperbólico ajustou-se estreitamente aos dados de mineralização de N e S, como se observa pelos coeficientes de determinação da tabela 4.5. No entanto, chama a atenção o fato de como os potenciais de N e S são afetados diferente-

Tabela 4.5 - Parâmetros das equações hiperbólicas e tempos necessários (semanas) para estimar as metades do enxofre ($1/2 S_o$) e do nitrogênio ($1/2 N_o$) potencialmente mineralizáveis por incubação a-berta na ausência e presença de calagem¹.

Solo	Calagem (2)	Enxofre					Nitrogênio				
		S _o (3)	T _c (4)	b, (5)	R ²	1/2S _o (3)	N _o (3)	T _c (4)	b (5)	R ²	1/2N _o (3)
São Pedro	s/	36,86	1,90	0,0515	0,9984	18,43	49,50	5,62	0,1136	0,9986	24,75
	c/	41,61	1,70	0,0410	0,9984	20,80	50,17	5,83	0,1182	0,9990	25,08
Assis	s/	36,32	1,98	0,0544	0,9981	18,16	45,54	12,62	0,2773	0,9985	22,77
	c/	38,06	2,49	0,0634	0,9956	19,03	45,72	4,12	0,0903	0,9996	22,86
Piraçununga-1	s/	28,91	5,00	0,1729	0,9993	14,46	59,31	3,90	0,0658	0,9943	29,65
	c/	44,66	6,18	0,1384	0,9941	22,33	45,53	2,40	0,0527	0,9921	22,77
Matão	s/	38,90	4,13	0,1061	0,9965	19,45	49,30	9,78	0,1984	0,9876	24,64
	c/	33,49	2,30	0,0687	0,9995	16,75	37,88	5,66	0,1494	0,9987	18,94
Catalão	s/	31,73	10,26	0,3233	0,9983	15,86	95,96	2,98	0,0311	0,9984	47,98
	c/	48,21	3,02	0,0626	0,9983	24,11	98,30	2,86	0,0291	0,9927	49,15
S.S. Paraíso-2	s/	35,40	4,34	0,1226	0,9965	17,70	63,77	4,84	0,0759	0,9961	31,88
	c/	48,60	6,20	0,1276	0,9913	24,30	82,58	3,36	0,0407	0,9997	41,29
Rio Paranaíba	s/	27,38	4,80	0,1752	0,9941	13,69	120,14	4,70	0,0392	0,9952	60,07
	c/	59,28	4,98	0,0840	0,9991	29,64	168,90	6,65	0,0394	0,9958	84,45

(1) Os parâmetros são estimados pela equação hiperbólica $[N = (N_o \times t) / (N_o \times b + t)]$, de STANFORD & SMITH (1972; JUMA et alii, 1984).

(2) Ausência (s/) e presença (c/) de calagem, conforme recomendações.

(3) Os valores de S_o , $1/2 S_o$, N_o e $1/2 N_o$ são dados em $\mu g \cdot g^{-1}$ solo.

(4) O tempo (T_c) é dado em semanas.

(5) b = constante $[(semanas \cdot \mu g \cdot g^{-1} \cdot solo)^{-1}] = T_c / N_o$ ou T_c / S_o .

mente pela calagem nos solos mais argilosos de Catalão, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba, sugerindo que uma fração de N e S é mineralizada por ação microbiológica e uma parte adicional de S é disponibilizada por dessorção de $S-SO_4^{=}$, ambos incentivados pelo aumento do pH dos solos, como atestam os trabalhos de HARWARD & REISENAUER (1966), WILLIAMS & STEINBERGS (1967), BARROW (1970) e PROBERT (1976).

Nos solos de textura arenosa como Assis e São Pedro a calagem praticamente não exerceu influência sobre a mineralização de N e S, indicando estoques reduzidos de S e N totais, com tendência ao rápido esgotamento, como mostra a reduzida meia-vida do enxofre mineralizável (tabela 5.). Nos solos de Matão e Catalão a calagem diminuiu a meia-vida do enxofre, mas intensificou a mineralização. Não havendo reposição, sob condições de cultivo exaustivo, ocorrerá o esgotamento do enxofre nativo dos solos. No solo de Rio Paranaíba, com 60,2% de argila e 3,03% de carbono a calagem aumentou a mineralização líquida de N e S, porém a meia-vida de S (potencialmente mineralizável) não se modificou significativamente, como ocorreu com a meia-vida do nitrogênio, indicando que parte do N mineralizado porém de "pools" diferentes daqueles do enxofre. É interessante observar que no solo de Catalão que o potencial de mineralização (N_0) e a meia-vida do nitrogênio não foram alteradas pela calagem, ao contrário do que se observou para o enxofre. Esse fato sugere que cerca de 50% do enxofre disponibilizado é originário de compostos outros que os sul-

fo-nitrogenados (NEPTUNE et alii, 1975).

Comportamento diverso foi observado nos solos de Piraçununga-1 e São Sebastião do Paraíso-2. A calagem, além de intensificar a mineralização de enxofre, também prolongou a sua meia-vida. Nos dois solos verificou-se o contrário para a meia-vida do nitrogênio, todavia, não se encontrou explicação plausível para o menor potencial de mineralização de N (N_0) estimado na presença de calagem.

McGILL & COLE (1982) propuseram um modelo conceitual para explicar a dinâmica do enxofre orgânico nos solos, em que os mecanismos que estabilizam o C, N, P e S orgânicos, não são necessariamente comuns a todos os quatro elementos. Os autores propuseram que o C e o N são estabilizados conjuntamente e mineralizados por mineralização biológica, enquanto que o P orgânico e ésteres de S são estabilizados independentemente da fração orgânica principal e mineralizados por mineralização bioquímica. A mineralização biológica é definida como a liberação de formas inorgânicas de N e S de materiais orgânicos durante a oxidação pelos microrganismos do solo para fornecer energia. A mineralização bioquímica resulta na liberação de fosfato e sulfato inorgânicos a partir de formas orgânicas através de catálise enzimática exterior à membrana celular. Como tal, ela é fortemente controlado pelo suprimento e pela necessidade do elemento liberado (BETTANY & STEWART, 1983).

Nos solos tropicais, altamente intemperizados parte significativa de enxofre, na forma de sulfato

encontra-se adsorvido ao complexo coloidal, sendo sua des-sorção fortemente dependente de pH e da presença de fosfatos (BARROW, 1970; HINGSTON et alii, 1972; PROBERT & JONES, 1977). Os parâmetros da equação hiperbólica na tabela 4.5. deste experimento sugerem que nos solos latossolos argilosos de Catalão, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba uma fração significativa de S disponibilizado é proveniente do $S-SO_4^-$ des-sorvido pelo aumento do pH, além da fração orgânica mineralizada. Entretanto, para se conhecer a provável origem do S formado disponível para as plantas é mister que se determinem as frações mais lábeis, como o S reduzível em HI (GREGG & GOH, 1978; TSUJI & GOH, 1979) e a fração que é des-sorvida pela calagem (WILLIAMS, 1967; MARTINI & MUTTERS, 1984; PROBERT, 1976).

4.3. MINERALIZAÇÃO AERÓBICA DE $S-SO_4^-$: EFEITOS DE INCUBAÇÃO ABERTA, NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE CALAGEM SOBRE A ATIVIDADE ESPECÍFICA DE ^{35}S

Na figura 4.3. podemos observar os efeitos da incubação aberta, na ausência e presença de calagem, sobre a atividade específica de ^{35}S nos lixiviados com KCl 0,01M, em função do tempo. A atividade inicial de ^{35}S nas amostras incubadas foi de $0,62134 \mu Ci.g^{-1}$ solo, por ocasião da primeira lixiviação. Na tabela 6 do apêndice, temos os dados de contagens por minuto (cpm x 1000/ml de li-

Figura 4.3 - Efeitos de incubação aberta e da calagem na atividade específica de ^{35}S (cpm x 1000/ $\mu\text{g S-SO}_4$) nos lixiviados em KCl 0,01M em função do tempo.

xiviado) e atividade específica de ^{35}S (cpm x 1000/ $\mu\text{g S-SO}_4^-$) e na figura 4.3. a evolução da atividade específica de ^{35}S em função do tempo de incubação. Vê-se, de imediato, a flagrante diferença na atividade específica do ^{35}S no tempo "zero" de incubação entre os solos estudados. Enquanto que nos solos arenosos, como o de São Pedro e Assis se revelou mais elevada, nos solos latossolos argilosos de Catalão, São Sebastião do Paraíso-2 e de Rio Paranaíba a atividade específica é significativamente mais baixa. Por outro lado, verifica-se, também, que a calagem influi na atividade específica do S-SO_4^- . Segundo BARROW & SHAW (1977), COUTO et alii (1979) e SINGH (1984a,b) os teores de argila, óxidos de ferro e alumínio, matéria orgânica, pH dos solos, extratores usados, temperatura e tempo de reação determinam a maior ou menor adsorção de S-SO_4^- . Apesar de se necessitarem de estudos mais específicos sobre adsorção de S-SO_4^- , os resultados deste experimento sugerem que a dessorção é inversamente proporcional aos teores de argila, matéria orgânica, pH e, principalmente, óxidos de ferro e alumínio. Os dados de atividade específica de ^{35}S mostram que a diluição isotópica apresenta, a partir da segunda lixiviação, diferenças maiores nos solos argilosos, sob efeito da calagem. No solo de Catalão, os dados de atividade específica verificados da sexta para a décima semana de incubação, mostram que a calagem acelera o processo de esgotamento do S nativo. Isso é confirmado, observando-se a meia-vida do enxofre (tempo necessário para mineralizar a metade do

enxofre potencialmente mineralizável) que ficou reduzida a cerca de 30%, isto é, de 10,26 semanas na ausência de calagem para 3,02 semanas na presença de calagem (veja tabela 4.5.). No solo de Piracununga-1, verifica-se um fato diverso: a calagem aumenta o potencial de mineralização de enxofre, mas também prolonga a meia-vida. A atividade específica de ^{35}S , na ausência de calagem praticamente se torna estacionária da segunda para oitava semana de incubação, a partir do qual então torna a aumentar, indicando o esgotamento do enxofre mineralizável, como se observa pelas figuras 4.2. (a-g) e 4.3. (a-g). No solo de São Sebastião do Paraíso-2 a ausência e presença de calagem fez a atividade específica decair até a sexta semana de incubação: a partir daí, a presença da calagem faz a atividade específica de ^{35}S estabilizar, enquanto que a sua ausência fá-la subir. Comparando-se as figuras 4.2. (f) e 4.3. (f) e tabela 4.5., nota-se que aumentaram o potencial de mineralização e a meia-vida do enxofre em função da calagem, explicando-se, assim, o aumento da atividade específica nos lixiviados a partir da sexta semana de incubação. No solo de Rio Paranaíba verificou-se queda na atividade de ^{35}S até a quarta semana de incubação. A partir da quarta semana, na ausência de calagem, o aumento na atividade específica se torna nítida: a mineralização é praticamente inexpressiva, como se pode visualizar pelas figuras 4.2. (a-g) e 4.3. (a-g). Nesse solo, embora a meia-vida do enxofre não tenha mostrado alteração significativa pela calagem, houve aumento su-

perior a 100% no potencial de mineralização do enxofre - S_0 com a sua presença (veja tabela 4.5.).

Nos solos arenosos de São Pedro e Matão, em bora se tenham observado diferenças na atividade específica do ^{35}S no tempo "zero" de incubação na ausência e presença de calagem, a partir da segunda semana de incubação tal diferença não mais se observou [figura 4.3. (c) e (d)]. A pequena diferença nas atividades específicas de ^{35}S , por influência da calagem, verificada nesses dois solos justifica a diferença não significativa dos respectivos potenciais de mineralização de enxofre - S_0 (veja tabela 4.5.). Todavia, não se encontrou explicação plausível para a maior atividade específica inicial de ^{35}S no solo de Assis (figura 4.3. b), que foi maior na ausência de calagem, apesar de os potenciais de mineralização de enxofre serem praticamente iguais sem e com calagem.

De um modo geral, a diluição isotópica de ^{35}S e a mineralização de enxofre dos solos observadas nesse experimento se estabilizam por volta da oitava semana de incubação, tanto na ausência como na presença de calagem, o que concorda com os valores encontrados por GOH & TSUJI (1979) e MAYNARD et alii (1983b).

4.4. EFEITOS DA CALAGEM, ENXOFRE E CULTIVOS NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE ENXOFRE

Na tabela 4.6. tem-se o quadro de análise

Tabela 4.6.- Quadro de análise de variância conjunta da produção de matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre.

Fonte de Variação	G.L.	Matéria seca (g/vaso)			Absorção de S (mg/vaso)		
		SQ	F	PKF	SQ	F	PKF
Solos (A)	11	27.565,23	458,72	0,0001	177.277,16	759,21	0,0001
Cultivos (B)	1	4,41	0,81	0,3723	135.855,07	6399,97	0,0001
A x B	11	8.566,48	148,55	0,0001	55.071,77	235,85	0,0001
Calagem (C)	1	4.382,24	802,18	0,0001	12.214,51	576,41	0,0001
Gessagem (D)	2	21.639,92	1980,62	0,0001	103.723,73	2443,15	0,0001
CxD	2	263,16	24,09	0,0001	659,26	15,28	0,0001
A x C	11	5.271,16	87,72	0,0001	15.836,91	67,82	0,0001
A x D	22	4.108,45	34,18	0,0001	18.219,14	39,01	0,0001
A x D x C	22	1.971,52	16,40	0,0001	7.878,93	16,87	0,0001
B x C	1	44,92	8,22	0,0047	505,05	23,79	0,0001
B x D	2	8.393,53	768,23	0,0001	2.780,62	65,49	0,0001
B x C x D	2	62,28	5,70	0,0042	1.242,32	29,26	0,0001
A x B x C	11	2.533,12	21,08	0,0001	3.420,59	14,69	0,0001
A x B x D	22	3.152,58	26,23	0,0001	14.939,90	31,99	0,0001
A x B x C x D	22	2.527,73	21,03	0,0001	5.371,54	11,50	0,0001
Modelo	143	90.487,46	115,83	0,0001	554.996,49	182,83	0,0001
Resíduo	230 ⁽¹⁾	1.256,47			4.882,31		
Total	431	91.743,47			559.878,80		

(1) Graus de liberdade dos resíduos corrigidos segundo COCHRAN (1954).
C.V. (matéria seca) = 5,94% C.V. (absorção de S) = 7,76%

da variância da produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho. A alta significância de F deve-se aos diferentes potenciais de produção dos solos (tabela 4.7.), ao fornecimento abundante de água e nutrientes e à alta temperatura na casa-de-vegetação durante os cultivos. Todas as interações observadas entre solos, cultivos, calagem e gessagem demonstram a desigual capacidade de suprimento do enxofre pelos solos. Por outro lado chama a atenção a não-significância de F da produção de matéria seca e a alta significância de F da absorção de enxofre pelo milho em função dos dois cultivos. Nas condições do experimento, as altas quantias de N, P, K e micronutrientes aplicados antes dos cultivos e de N e K em cobertura forçaram o luxuriantes crescimento do milho, levando ao esgotamento do enxofre nativo e aplicado aos solos. Na tabela 4.7. verifica-se que, embora, as diferenças significativas nas produções médias de matéria seca analisando cada solo individualmente, tenham sido ora maiores no primeiro cultivo, ora no segundo, as diferenças na absorção de enxofre foram sistematicamente menores no segundo cultivo em todos os solos. Depreende-se daí que ocorreu esgotamento do enxofre nativo e aplicado aos solos. BETTANY et alii (1974) verificaram que a absorção de enxofre pela alfafa, em função da adubação sulfatada, mostrou diferenças significativas em solos muito deficientes a partir do primeiro corte; nos solos com maior poder de suprimento de enxofre, as diferenças nas produções de matéria seca e absorção de enxofre

somente se tornaram significativas a partir do terceiro corte. FREITAS & JORGE (1982) obtiveram respostas significativas de produção de matéria seca de [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] à aplicação de enxofre a partir do terceiro ano, apesar de o solo estudado (LVd, Matão, SP) ter baixo teor de matéria orgânica.

Na análise conjunta dos dois cultivos, por solo, notam-se, pela produção de matéria seca e absorção de enxofre, grandes diferenças na capacidade de suprimento de enxofre. Essa evidência é complementada se considerados os efeitos da calagem e da gessagem nos dois cultivos. A diferença não significativa da produção de matéria seca dentro de cultivos, porém significativa dentro de calagem, mostra que o enxofre nativo é insuficiente para o rendimento máximo do milho. Por outro lado, a diferença altamente significativa na absorção de enxofre, dentro de calagem e dentro de cultivos demonstra que há disponibilização de enxofre nativo, via correção da acidez, o que é confirmado pelo aumento dos potenciais de mineralização de enxofre de alguns solos pela calagem, como consta na tabela 4.5. MARTINI & MUTTERS (1984) verificaram que a calagem, nos níveis normalmente recomendados para solos costeiros da Carolina do Sul (USA), aumenta a produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho. Todavia, dobrando-se as doses recomendadas, a calagem deprimiu o crescimento e a absorção de enxofre, por causa da maior quantidade de $S-SO_4$ lixiviados dos solos para os pratos de drenagem.

O esgotamento progressivo do enxofre nativo aplicado aos solos é evidenciado pela interação da gessagem x cultivos e pela interação tripla da calagem . gesso (veja tabela 4.6, e tabela 4.7.). A produção de matéria seca de milho em vasos, em função das doses de gessagem não se constituiu, nas condições desse experimento, em bom indicador de exportação do enxofre dos solos, por causa do efeito diluidor das altas quantias de N e K aplicados. JANZEN & BETTANY (1984) atribuem às altas doses de N e ao insuficiente suprimento de S a acumulação de metabólitos tóxicos de N e a depressão da produção de sementes de colza (*Brassica napus*). Nas condições desse experimento, a absorção de enxofre pelo milho é coerente com a evolução dos teores de $S-SO_4^{=}$ disponível nos solos (figuras 3.1.1. a 3.1.3.): todo o S aplicado foi prontamente exportado pelo milho, uma vez que o $S-SO_4^{=}$ estimado pelos extratores mostrou-se praticamente igual em todas doses de gesso após o segundo cultivo.

As quantidades de enxofre absorvido pelo milho de cada solo, individualmente, mostram diferentes potenciais de suprimento de enxofre às plantas. Comparando-se os dados das tabelas 3.1., 4.5. e 4.7. é possível estabelecer relações entre absorção de enxofre e teores de carbono, enxofre total e potenciais de mineralização de enxofre. Na tabela 4.7. constata-se que o solo de Catalão foi o que forneceu a maior quantidade de enxofre (sem isolar o efeito da calagem), seguido dos solos São Sebastião do

Tabela 4.7 - Quadro de médias de produção de matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre, comparando-se os efeitos de solos, cultivos, calagem e gesso.

Fontes	Produção de matéria seca (g/vaso)			Absorção de enxofre (mg/vaso)		
	1º cultivo	2º cultivo	Conjunto	1º cultivo	2º cultivo	conjunto
Solos		n = 18	n = 36 (2)		n = 18 (3)	n = 36 (4)
Anhembi	42,71 a*	38,33 b	40,52 d	66,44 a	36,52 b	51,48 h
São Pedro	27,50 a	25,32 a	26,41 g	47,82 a	21,40 b	34,61 hi
Assis	47,09 a	29,51 b	38,30 e	55,57 a	21,18 b	38,38 gh
Piraçununga-1	29,55 a	25,41 b	27,48 g	37,81 a	25,75 b	34,78 i
Piraçununga-2	32,68 a	28,96 b	30,82 f	50,07 a	31,54 b	40,82 g
Botucatu-1	37,56 b	50,69 a	44,12 b	71,73 a	63,29 b	67,51 cd
Botucatu-2	42,42 a	44,87 a	43,65 bc	75,96 a	60,84 b	68,40 cd
Matão	47,85 a	41,88 b	44,86 b	103,36 a	37,39 b	70,38 c
Catalão	48,35 b	65,15 a	56,75 a	135,60 a	72,38 b	103,99 a
S.S. Paraíso-1	45,06 a	38,44 b	41,75 cd	121,41 a	38,15 b	79,78 b
S.S. Paraíso-2	35,25 b	40,76 a	38,01 e	79,17 a	49,38 b	64,27 de
Rio Paranaíba	37,65 b	41,93 a	39,79 de	80,08 a	41,58 b	60,83 ghi
Cultivos		n = 216 (5)			n = 216 (6)	
	39,47 a	39,27 a	-	77,08 a	41,68 b	-
Calagem		n = 108 (7)			n = 216 (9)	
Ausência	36,61 b	35,76 b	36,19 b	70,69 b	37,38 d	54,03 b
Presença	42,33 a	42,78 a	42,56 a	83,48 a	45,85 c	64,67 a
Gessagem		n = 72 (11)			n = 72 (13)	
0 ppm S	35,32 d	23,66 e	29,49 c	56,54 d	19,76 f	38,15 c
20 ppm S	42,31 b	43,59 b	42,95 b	85,60 b	44,68 e	65,14 b
40 ppm S	40,79 c	50,56 a	45,67 a	89,11 a	60,41 c	74,76 a

Diferenças mínimas significativas pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

- (1) DMS = 3,24; (2) DMS = 2,11; (3) DMS = 6,40; (4) DMS = 4,17
 (5) DMS = 0,59; (6) DMS = 1,16
 (7) DMS = 1,02; (8) DMS = 0,59; (9) DMS = 2,01; (10) DMS = 1,16
 (11) DMS = 1,34; (12) DMS = 0,81; (13) DMS = 2,80; (14) DMS = 1,61

* Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Paraíso-1, Matão, Botucatu-1, Botucatu-2, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba. Os solos restantes (mais arenosos e com menores teores de carbono) absorveram as quantidades menores de enxofre. No entanto, é essencial que se levem em conta os efeitos da calagem e dos cultivos para avaliar o potencial de fornecimento de enxofre, como será mostrado nas secções 4.5. e 4.7., em que serão estudadas as curvas de resposta ao gesso e as relações entre a absorção de enxofre versus teores de carbono, enxofre total e potenciais de mineralização.

4.5. CURVAS DE RESPOSTA AO GESSO NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE CALAGEM, EM DOIS CULTIVOS SUCESSIVOS DOS SOLOS

4.5.1. DOSES DE GESSO VERSUS PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA DO MILHO

Na tabela 4.8. estão listadas as equações de regressão das curvas de resposta da produção de matéria seca da parte aérea do milho (g/vaso) versus doses de gesso (0, 20 e 40 ppm de S). De imediato, constata-se que os interceptos das equações de regressão na presença de calagem são mais elevados do que na ausência de calagem, tanto, no primeiro quanto no segundo cultivo. Nos solos mais arenosos e com menores teores de carbono (nº 1 a 6 da ta-

Tabela 4.8 - Curvas de resposta da produção de matéria seca (g/vaso) versus doses de gesso (0, 20 e 40 ppm S), na ausência e presença de calagem e em dois cultivos dos solos, de forma individual e conjunta.

Solos	Calagem	Cultivo (nº)	Equação de regressão	nº de pares	R²	P < α	X _{max.} (2)	Y _{max.} (2)
1-Anhembi	s/ (1)	1	Y = 28,05 + 1,635X - 0,0369X²	9	0,9532	0,01	22,15	46,15
	s/	2	Y = 16,56 + 1,181X - 0,0136X²	9	0,9740	0,01	43,42	42,20
	c/	1	Y = 48,68 - 0,075X + 0,0032X²	9	0,3289	ns	-	-
	c/	2	Y = 32,35 + 0,403X - 0,0077X²	9	0,9625	0,01	26,30	37,58
2-São Pedro	s/	1	Y = 25,25 - 4,865X + 0,0857X²	9	0,2358	ns	-	-
	s/	2	Y = 16,50 + 0,068X - 0,0074X²	9	0,9485	0,01	4,5	16,65
	c/	1	Y = 30,23 - 0,140X + 0,0054X²	9	0,6996	0,05	-	-
	c/	2	Y = 23,81 + 0,030X + 0,0041X²	9	0,7770	0,05	-	-
3-Assis	s/	1	Y = 25,07 + 0,553X - 0,0076X²	9	0,8593	0,01	36,29	35,10
	s/	2	Y = 13,20 + 1,123X - 0,0186X²	9	0,9678	0,01	30,19	30,15
	c/	1	Y = 28,01 + 0,665X - 0,0096X²	9	0,9392	0,01	34,63	39,52
	c/	2	Y = 11,14 + 0,787X - 0,0132X²	9	0,9318	0,01	29,82	22,87
4-Piraçununga-1	s/	1	Y = 23,44 + 0,183X - 0,0032X²	9	0,4873	ns	28,77	26,06
	s/	2	Y = 9,90 + 1,670X - 0,0266X²	9	0,9776	0,01	31,40	35,72
	c/	1	Y = 34,58 + 0,0056X - 0,0008X²	9	0,0835	ns	3,27	34,55
	c/	2	Y = 8,61 + 1,856X - 0,0322X²	9	0,9274	0,01	29,00	35,52
5-Piraçununga-2	s/	1	Y = 24,01 + 0,813X - 0,0139X²	9	0,9446	0,01	29,20	35,90
	s/	2	Y = 10,10 + 1,509X - 0,0222X²	9	0,9902	0,01	34,00	35,78
	c/	1	Y = 24,67 + 1,375X - 0,0267X²	9	0,9180	0,01	25,75	42,38
	c/	2	Y = 11,08 + 2,179X - 0,0333X²	9	0,9951	0,01	32,72	46,76
6-Butucatu-1	s/	1	Y = 33,97 - 0,164X + 0,0043X²	9	0,5567	ns	-	-
	s/	2	Y = 33,90 + 0,208X + 0,0207X²	9	0,9843	0,01	-	-
	c/	1	Y = 43,37 + 0,012X - 0,0030X²	9	0,7334	0,05	2,03	43,90
	c/	2	Y = 38,58 + 1,717X - 0,0202X²	9	0,9940	0,01	42,47	65,02
7-Butucatu-2	s/	1	Y = 35,47 + 1,342X - 0,0325X²	9	0,9306	0,01	20,61	49,28
	s/	2	Y = 30,21 + 0,774X - 0,0227X²	9	0,8853	0,01	17,05	36,80
	c/	1	Y = 42,64 + 0,2985X - 0,0066X²	9	0,6524	0,05	22,51	46,00
	c/	2	Y = 42,77 + 2,581X - 0,0528X²	9	0,9775	0,01	24,43	74,28
8-Matão	s/	1	Y = 46,73 + 0,902X - 0,0204X²	9	0,8293	0,01	22,10	56,65
	s/	2	Y = 19,20 + 3,540X - 0,0658X²	9	0,9921	0,01	26,90	66,82
	c/	1	Y = 41,65 + 1,083X - 0,0282X²	9	0,9143	0,01	19,20	52,04
	c/	2	Y = 13,99 + 1,408X - 0,0068X²	9	0,9843	0,01	-	-
9-Catalão	s/	1	Y = 40,90 + 0,411X - 0,0107X²	9	0,8101	0,01	19,11	44,53
	s/	2	Y = 28,94 + 1,381X	9	0,9803	0,01	-	-
	c/	1	Y = 55,07 - 0,0162X	9	0,0737	ns	-	-
	c/	2	Y = 66,73 + 0,524X - 0,0052X²	9	0,8192	0,01	50,71	80,03
10-S.S.Paraíso-1	s/	1	Y = 37,05 + 0,808X - 0,0102X²	9	0,9384	0,01	39,61	53,05
	s/	1	Y = 16,47 + 2,006X - 0,0284X²	9	0,9752	0,01	35,31	51,96
	c/	1	Y = 39,54 + 0,323X - 0,0034X²	9	0,8611	0,01	46,81	47,12
	c/	2	Y = 19,27 + 1,468X - 0,0140X²	9	0,9955	0,01	52,43	57,75
11-S.S.Paraíso-2	s/	1	Y = 25,07 + 0,903X - 0,0171X²	9	0,8299	0,01	26,36	36,97
	s/	2	Y = 17,86 + 1,926X - 0,0332X²	9	0,9288	0,01	28,98	45,76
	c/	1	Y = 34,24 + 0,679X - 0,0135X²	9	0,9467	0,01	25,17	42,29
	c/	2	Y = 38,75 + 0,143X + 0,0088X²	9	0,9540	0,01	-	-
12-Mio Paranaíba	s/	1	Y = 9,57 + 0,980X - 0,0176X²	9	0,9540	0,01	27,76	23,18
	s/	2	Y = 8,56 + 0,232X - 0,0068X²	9	0,9848	0,01	-	-
	c/	1	Y = 21,92 - 0,191X + 0,0055X²	9	0,4846	ns	-	-
	c/	2	Y = 14,96 + 0,938X - 0,0117X²	9	0,9894	0,01	40,11	33,77
Solos de 1 a 6	s/	1	Y = 26,20 + 0,649X - 0,0111X²	54	0,1825	0,05	17,00	34,02
	s/	2	Y = 12,64 + 1,027X - 0,0098X²	54	0,4794	0,01	52,40	44,55
	c/	1	Y = 36,92 + 0,302X - 0,0046X²	54	0,0565	ns	-	-
	c/	2	Y = 20,56 + 1,229X - 0,0163X²	54	0,4485	0,01	37,70	43,72
Solos de 7 a 12	s/	1	Y = 33,43 + 1,082X - 0,0222X²	54	0,3175	0,01	15,45	44,84
	s/	2	Y = 21,38 + 1,714X - 0,0237X²	54	0,5208	0,01	36,16	52,37
	c/	1	Y = 42,55 + 0,334X - 0,069X²	54	0,0730	ns	24,20	46,60
	c/	2	Y = 31,60 + 1,569X - 0,0195X²	54	0,4948	0,01	40,23	63,16

(1) Ausência (s/) e presença (c/) de calagem, conforme recomendações.

(2) Valores máximos de S aplicado (X_{max.}) e produção de matéria seca (Y_{max.}), estimados por regressão polinomial.

bela 4.8.), na ausência de calagem, os interceptos das equações de regressão conjunta foram de 26,2 g/vaso para o primeiro e segundo cultivos. Nos solos mais argilosos, com teores de carbono maiores que 1,2% (nºs 7 a 12) os interceptos acusaram valores de cerca de 30 a 50 % superiores aos dos solos arenosos, referentes aos mesmos tratamentos. Os valores de enxofre máximos ($X_{\max}$, na tabela 4.8.) que estimam a produção máxima de matéria seca no primeiro cultivo, nos solos arenosos (nºs 1 a 6) na ausência de calagem, foi igual a 17 ppm de S aplicadas, elevando-se para 52,4 ppm no segundo cultivo; na presença de calagem, os valores de enxofre máximos foram de 32,9 ppm de S no primeiro cultivo e 37,7 ppm no segundo cultivo. Nos solos com teores de carbono superiores a 1,2 %, os valores de enxofre máximos, na ausência de calagem, foram de 15,4 ppm de S no primeiro e de 36,2 ppm no segundo cultivo; na presença de calagem obtiveram-se valores de 24,2 e 40,2 ppm de S, respectivamente. Entretanto, os valores de enxofre ($X_{\max}$), que estimam a produção máxima de matéria seca da parte aérea do milho, na presença de calagem no primeiro cultivo, não são valores confiáveis, como mostram os coeficientes de determinação respectivos. Podem-se apontar como causas da não significância a variada resposta dos solos à calagem e a consequente disponibilização de enxofre (mineralização de S orgânico e dessorção de $S-SO_4^{=}$) e diferentes volumes de solo explorado, porque o experimento foi conduzido com base no peso dos solos. Mc CLUNG et alii (1959) observaram aumento de

produção de matéria seca de milho com aumento do volume dos solos, porém com concentrações iguais de enxofre, de 1 para 2 vezes; todavia, quando se aumentaram os volumes dos solos de 2 para 4 vezes, a produção se manteve constante. O formato das curvas de resposta foi essencialmente igual para todos os volumes.

Nas condições desse experimento observou-se em ambos os cultivos grande acúmulo de raízes nos fundos dos vasos, o que também foi constatado por McCLUNG et alii (1959), utilizando vasos de tamanho médio e pequeno. Devido às limitações do sistema radicular em experimentos de vasos, o potencial de fornecimento de qualquer nutriente deve ser estimado através das quantidades retiradas do solo pelo elemento em estudo (GASSER, 1963).

4.5.2. DOSES DE GESSO VERSUS ABSORÇÃO DE ENXOFRE PELA PARTE AÉREA DO MILHO

Na tabela 4.9 encontram-se as equações de regressão da absorção de enxofre pela parte aérea do milho (mg/vaso) versus doses de gesso (0, 20, 40 ppm de S). Ao contrário da produção de matéria seca, na absorção de enxofre pelo milho, os interceptos das equações de regressão (dose zero de gesso aplicado aos solos) mostram-se sistematicamente significativos na ausência e presença de calagem e dentro de cada cultivo. O efeito da calagem, como já foi discutido em seções anteriores, deve-se à disponi-

Tabela 4.9 - Curvas de respostas de absorção de enxofre (mg /S/ vaso) versus doses de gesso (0, 20 e 40 ppm S), na ausência e presença de calagem e em dois cultivos dos solos, de forma individual e conjunta.

Solos	Calagem	Cultivo (nº)	Equação de Regressão	Nº de pares	R ²	P < α	X _{max.} (2)	Y _{max.} (2)
1-Anhembi	a/ (1)	1	$Y = 35,70 + 2,270X - 0,0439X^2$	9	0,9979	0,01	25,85	65,11
	a/	2	$Y = 11,65 + 1,810X - 0,0209X^2$	9	0,9677	0,01	23,11	50,67
	c/	1	$Y = 72,17 + 1,590X - 0,0344X^2$	9	0,8763	0,01	43,18	90,54
	c/	2	$Y = 18,30 + 1,050X$	9	0,9550	0,01	-	-
2-São Pedro	a/	1	$Y = 30,63 + 0,900X - 0,0070X^2$	9	0,9848	0,01	64,28	59,56
	a/	2	$Y = 12,60 + 0,027X + 0,0115X^2$	9	0,9687	0,01	-	-
	c/	1	$Y = 45,37 + 0,756X - 0,0132X^2$	9	0,8012	0,01	28,64	56,19
	c/	2	$Y = 14,23 + 0,637X - 0,0059X^2$	9	0,9602	0,01	54,26	31,51
3-Assis	a/	1	$Y = 28,67 + 1,610X - 0,0100X^2$	9	0,9885	0,01	77,40	86,86
	a/	2	$Y = 11,33 + 1,352X - 0,0189X^2$	9	0,9790	0,01	35,77	35,50
	c/	1	$Y = 31,97 + 0,792X + 0,0141X^2$	9	0,9919	0,01	-	-
	c/	2	$Y = 8,40 + 0,411X$	9	0,9394	0,01	-	-
4-Piraçununga-1	a/	1	$Y = 19,40 + 1,630X - 0,0247X^2$	9	0,9881	0,01	32,99	42,29
	a/	2	$Y = 6,83 + 1,060X$	9	0,9912	0,01	-	-
	c/	1	$Y = 31,09 + 0,500X - 0,0027X^2$	9	0,8355	0,01	93,60	43,70
	c/	2	$Y = 9,36 + 0,701X$	9	0,9244	0,01	-	-
5-Piraçununga-2	a/	1	$Y = 17,60 + 2,370X - 0,0267X^2$	9	0,9835	0,01	44,38	70,40
	a/	2	$Y = 7,00 + 1,130X$	9	0,9526	0,01	-	-
	c/	1	$Y = 28,80 + 2,370X - 0,0350X^2$	9	0,9638	0,01	33,86	68,90
	c/	2	$Y = 6,28 + 1,410X$	9	0,9819	0,01	-	-
6-Botucatu-1	a/	1	$Y = 62,30 + 1,152X - 0,0270X^2$	9	0,7657	0,01	21,33	99,16
	a/	2	$Y = 37,17 + 0,615X - 0,0164X^2$	9	0,9646	0,01	18,75	42,94
	c/	1	$Y = 78,07 + 0,112X + 0,0005X^2$	9	0,2487	na	-	-
	c/	2	$Y = 35,10 + 2,880X - 0,0398X^2$	9	0,9951	0,01	36,18	87,20
7-Botucatu-2	a/	1	$Y = 49,60 + 2,940X - 0,0696X^2$	9	0,9321	0,01	21,12	80,65
	a/	2	$Y = 41,27 + 1,157X - 0,0329X^2$	9	0,8398	0,01	17,98	51,44
	c/	1	$Y = 65,47 + 6,950X + 0,0159X^2$	9	0,9730	0,01	20,72	73,04
	c/	2	$Y = 45,63 + 5,517X - 0,1150X^2$	9	0,9540	0,01	24,00	111,80
8-Matão	a/	1	$Y = 68,43 + 6,260X - 0,1340X^2$	9	0,9898	0,01	27,12	142,30
	a/	2	$Y = 12,93 + 2,735X - 0,0417X^2$	9	0,9925	0,01	32,80	57,27
	c/	1	$Y = 67,97 + 4,930X - 0,0997X^2$	9	0,9607	0,01	24,72	128,90
	c/	2	$Y = 7,67 + 1,366X$	9	0,9783	0,01	-	-
9-Catalão	a/	1	$Y = 94,07 + 0,577X - 0,0120X^2$	9	0,9474	0,01	24,04	101,00
	a/	2	$Y = 23,94 + 1,940X$	9	0,9862	0,01	-	-
	c/	1	$Y = 145,04 + 1,470X - 0,0254X^2$	9	0,7454	0,01	28,94	166,31
	c/	2	$Y = 63,07 + 1,634X - 0,0207X^2$	9	0,9650	0,01	39,47	95,31
10-S.S.Paraíso-1	a/	1	$Y = 64,17 + 4,570X - 0,0539X^2$	9	0,9651	0,01	42,39	161,63
	a/	2	$Y = 11,20 + 1,320X$	9	0,9659	0,01	-	-
	c/	1	$Y = 84,33 + 4,360X - 0,0726X^2$	9	0,9743	0,01	30,03	149,77
	c/	2	$Y = 14,92 + 1,190X$	9	0,9777	0,01	-	-
11-S.S.Paraíso-2	a/	1	$Y = 56,70 + 2,910X - 0,0627X^2$	9	0,9632	0,01	23,20	90,46
	a/	2	$Y = 13,52 + 1,250X$	9	0,9646	0,01	-	-
	c/	1	$Y = 69,90 + 2,520X - 0,0559X^2$	9	0,8370	0,01	22,54	98,00
	c/	2	$Y = 34,99 + 1,260X$	9	0,9705	0,01	-	-
12-Rio Paranaíba	a/	1	$Y = 26,97 + 3,310X - 0,0339X^2$	9	0,9515	0,01	49,70	107,76
	a/	2	$Y = 9,20 - 0,106X + 0,0358X^2$	9	0,9910	0,01	-	-
	c/	1	$Y = 82,97 - 0,173X + 0,0152X^2$	9	0,6777	0,05	-	-
	c/	2	$Y = 22,77 + 1,935X - 0,0139X^2$	9	0,9909	0,01	69,60	90,12
Solos de 1 a 6	a/	1	$Y = 32,30 + 1,663X - 0,0231X^2$	54	0,5141	0,01	36,08	62,32
	a/	2	$Y = 14,16 + 1,013X - 0,0025X^2$	54	0,5162	0,01	-	-
	c/	1	$Y = 42,89 + 0,977X - 0,0114X^2$	54	0,2099	0,01	42,85	68,82
	c/	2	$Y = 15,48 + 1,121X - 0,0061X^2$	54	0,3896	0,01	-	-
Solos de 7 a 12	a/	1	$Y = 59,99 + 3,431X - 0,0563X^2$	54	0,3915	0,01	30,62	112,42
	a/	2	$Y = 18,22 + 1,534X - 0,0103X^2$	54	0,3893	0,01	-	-
	c/	1	$Y = 85,89 + 2,298X - 0,0371X^2$	54	0,2163	0,01	30,97	121,47
	c/	2	$Y = 31,18 + 2,243X - 0,0272X^2$	54	0,4816	0,01	41,23	109,83

(1) Ausência (a/) e presença (c/) de calagem, conforme recomendações.

(2) Valores máximos de S aplicado ($X_{max.}$) e enxofre absorvido ($Y_{max.}$), estimado por regressão polinomial.

bilização (mineralização e dessorção de $S-SO_4^{=}$), que se torna mais evidente no segundo cultivo na maioria dos solos, nos quais a equação da reta apresenta o melhor grau de ajustamento aos dados de observação. Nesses solos as doses máximas (40 ppm) de enxofre aplicados revelaram-se insuficientes para maximizar a absorção no segundo cultivo. No caso dos solos arenosos, embora em alguns casos a regressão polinomial de segundo grau tenha dado melhor ajustamento (com exceção do solo de Botucatu-1), as absorções máximas observadas extrapolaram a dose máxima aplicada. No solo de Botucatu-1, apesar de ser um solo arenoso, a regressão não se mostrou significativa na presença de calagem no primeiro cultivo; no segundo cultivo a regressão de segundo grau estimou o ponto de máxima absorção de enxofre com 36,2 ppm de enxofre aplicado. Presume-se, embora não se tenham informações a respeito, que o solo tenha sido adubado com alguma formulação de fertilizante com enxofre em cultivos anteriores a campo. No solo de Botucatu-2 a resposta à calagem deve ser debitada ao baixo teor de magnésio no solo relativamente ao cálcio, como se pode observar na tabela 4.2., mas não à deficiência de enxofre, pois a maximização da absorção ocorreu com 20 e 24 ppm de enxofre, respectivamente para o primeiro e segundo cultivos. No solo de Matão a calagem mostrou efeito depressivo na absorção de enxofre. Conforme consta na tabela 3.1., a quantidade de 0,43 t/ha de calcário aplicado não oferece nenhuma explicação aceitável para essa diminuição do enxofre absorvido. Nos

solos de Catalão, São Sebastião do Paraíso-1, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba pode-se observar o efeito altamente significativo da calagem através dos interceptos das regressões, tanto do primeiro quanto do segundo cultivo. Em solos de cerrado, como o de Catalão, a calagem, além de neutralizar a acidez, o alumínio e manganês trocáveis e mineralizar a matéria orgânica, tem a importante função de fornecer cálcio e magnésio como nutrientes. Segundo trabalho de RITCHEY et alii(1980) as camadas superficial e subsuperficial dos latossolos vermelhos escuros orto, em que se pode enquadrar o solo de Catalão, são extremamente pobres em cálcio e magnésio. Apesar de se terem aplicado, na ausência de calagem, 200 ppm de Ca antes do primeiro cultivo e 2/3 dessa mesma quantia antes do segundo cultivo, essas doses podem ter sido insuficientes para o desenvolvimento simplesmente vegetativo do milho. Por outro lado, a linearidade da equação de regressão do segundo cultivo, na ausência de calagem, sugere que a calagem provoca a dessorção de apreciável quantidade de $S-SO_4^-$. Com a calagem a absorção máxima de enxofre ocorreu com cerca de 30 ppm de S para o primeiro cultivo e 40 ppm de S para o segundo cultivo. No solo de São Sebastião do Paraíso-1 e São Sebastião do Paraíso-2 nota-se, da mesma forma, alta resposta à calagem, que também é atribuível ao fornecimento de cálcio e magnésio como nutrientes por causa do esgotamento nas amostras de terra analisadas após o primeiro e segundo cultivos(veja tabela 4.2.). Porém, nesses solos a linearidade

da equação no segundo cultivo, na ausência e presença de calagem, sugere um pequeno potencial de fornecimento de enxofre às culturas, principalmente no solo de São Sebastião do Paraíso-1, cujo teor de enxofre total (determinado gravimetricamente) chega a apenas 78 ppm. A deficiência de enxofre em solos de São Sebastião do Paraíso (MG) também foi detectada por GUIMARÃES et alii (1983) e PEDROSO et alii (1986), em que o efeito do gesso foi atribuído ao fornecimento simultâneo de cálcio e enxofre no cafeeiro e à neutralização do alumínio sub-superficial. Além disso, PEDROSO et alii (1986) observam ainda que o S aplicado em cafeeiro fez efeito tanto em níveis médios como altos de produtividade.

No solo de Rio Paranaíba as equações de regressão indicam ação simultânea da calagem e do gesso na absorção de enxofre. Pela tabela 4.2. verifica-se que o solo é pobre em cálcio e magnésio e pela tabela 4.5. confirma-se que a calagem aumenta o potencial de mineralização a mais de 100 %. Embora o enxofre total desse solo esteja por volta de 3200 ppm, as doses máximas aplicadas (40 ppm de S) não foram suficientes para maximizar a absorção de enxofre pelo milho. Apesar de não se conhecerem trabalhos específicos de adsorção de $S-SO_4^{=}$ neste tipo de solo de cerrado, levanta-se a hipótese de que sua capacidade de adsorção de ânions seja bastante elevada, com base na pequena recuperação do fósforo adicionado (veja tabela 4.2.) e a menor eficiência de extração de $S-SO_4^{=}$ pelo extrator de

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N logo após a incubação (veja tabela 4 do apêndice), se comparado com os demais solos estudados.

Analisando-se os solos de forma conjunta, as equações de regressão para os solos arenosos mostram que a calagem proporciona certo aumento na absorção de enxofre a penas no primeiro cultivo, ao passo que no segundo cultivo, na ausência e presença de calagem as equações apresentam formato praticamente linear, indicando esgotamento do enxofre liberado pela calagem e do adicionado. Nos solos mais argilosos (e com teores de carbono superiores a 1,2%), a maximização da absorção, na ausência de calagem, não foi atingida com a dose máxima de 40 ppm de S aplicados; na presença de calagem, o máximo estimado foi de 41,23 ppm S. Nota-se, assim, que os solos mais argilosos (concomitantemente os de maior teor de carbono) possuem maior reserva de enxofre, passível de ser posto à disposição das plantas. FONTES (1979), estudando solos de Minas Gerais, concluiu que o enxofre de reserva é mais elevado em solos com maiores teores de carbono. Entretanto, deve-se levar em conta que muitos solos tropicais, contendo óxidos de ferro e alumínio, podem adsorver quantidades razoáveis de S-SO_4^- , mas que podem ser desorvidas pelo aumento do pH, como atestam os trabalhos de KAMPRATH et alii (1956), CATANI et alii (1971) e COUTO et alii (1979). As pesquisas de HINGSTON et alii (1972) e BROMFIELD (1972) conduzem à opinião de que o problema da retenção de S-SO_4^- pelos solos tropicais está

na relação de cargas positivas e negativas. Dentre os solos estudados nesse experimento, o LE_d de Catalão e o LV_d de Rio Paranaíba, pelas considerações acima, merecem estudos detalhados sobre a retenção de sulfatos e a influência da calagem e da fosfatagem na sua dessorção.

Em trabalhos mais antigos de McCLUNG et alii (1961) com algodão, de MIKKELSEN et alii (1963) com milho, ambos em solos de campos cerrados e de WANG et alii (1976a, b) com arroz inundado, as produções máximas foram obtidas com quantidades de enxofre (como S elementar), variando de 20 a 40 kg/ha. Deve-se, no entanto, estar atento para o número "mágico" de 30 kg de S/ha - acima do qual as culturas não respondem a S - que pode não ser verdadeiro para espécies e cultivares de alto potencial produtivo, que respondem a altas doses de N, como algumas variedades modernas de milho e arroz. Com base nos resultados desse experimento e assumindo que 1 ppm de S corresponde a 2 kg de S/ha, o milho tem condições de responder a doses de enxofre superiores às aplicadas, principalmente em condições de campo, em que o $S-SO_4^{=}$ pode ser lixiviado para as camadas sub-superficiais, como atesta o trabalho de MARTINI & MUTTERS (1984). Por outro lado, altas doses de N sem a suficiente contrapartida de enxofre podem induzir ao acúmulo de metabólitos tóxicos de nitrogênio (JANZEN & BETTANY, 1983). Nesse experimento constatou-se, também, que adubações pesadas de fósforo e nitrogênio induzem a relações N/S e P/S nutri

cionalmente inadequadas, como será explanado na secção 4.6.

4.6. TEORES DE ENXOFRE TOTAL NA PARTE AÉREA E RAZÕES N/S E P/S VERSUS PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE ENXOFRE PELO MILHO

4.6.1. EVOLUÇÃO DOS TEORES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E ENXOFRE EM FUNÇÃO DA CALAGEM, GESSO E DOS CULTIVOS

Na tabela 4.10. observam-se os teores de N, P e S totais na parte aérea do milho. O nitrogênio total tende a ser mais alto na ausência de calagem e de gesso se comparado com a sua presença. Com a adubação abundante de N e outros nutrientes (veja tabela 4.2.) e calagem, o enxofre nativo dos solos sofreu esgotamento progressivo do enxofre disponível dos solos, refletindo-se diretamente na diminuição dos teores de enxofre total e aumento de nitrogênio total na planta-teste do primeiro para o segundo cultivo. A deficiência de enxofre mostra-se particularmente severa no nível zero de enxofre. A partir do primeiro cultivo já se detectaram deficiências de enxofre em solos arenosos como o de Assis, Piraçununga-1 e Piraçununga-2, de ficiências estas que se estenderam aos outros solos no segundo cultivo, no nível de 20 ppm de S. Nos solos de Botucatu-1 (latossolo arenoso) e Botucatu-2 (latossolo roxo ar-

Tabela 4.10 - Teores de nitrogênio, fósforo e enxofre na parte aérea do milho nos dois cultivos (médias de 3 repetições).

Solo	Níveis de Calagem	Níveis de S-ppm	Teores de N, P e S na parte aérea do milho (%)																	
			1º cultivo									2º cultivo								
			0			20			40			0			20			40		
N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S
Anhembi	s/ (1)		3,13	0,56	0,14	2,48	0,47	0,14	2,98	0,52	0,16	2,08	0,53	0,07	1,40	0,46	0,12	1,38	0,45	0,12
	c/ (1)		1,70	0,51	0,15	1,87	0,55	0,19	1,57	0,62	0,16	1,85	0,48	0,06	1,21	0,35	0,08	1,14	0,35	0,10
São Pedro	s/		3,16	0,65	0,14	3,42	0,64	0,21	3,26	0,64	0,20	3,88	0,63	0,08	2,52	0,59	0,08	2,00	0,62	0,10
	c/		2,95	0,64	0,15	2,97	0,68	0,18	2,97	0,63	0,16	2,39	0,58	0,06	2,88	0,51	0,09	1,74	0,55	0,10
Assis	s/		2,05	0,53	0,08	2,09	0,44	0,12	2,11	0,52	0,15	3,57	0,57	0,06	2,22	0,51	0,08	2,73	0,51	0,09
	c/		2,31	0,59	0,08	2,60	0,41	0,10	1,83	0,44	0,15	4,20	0,61	0,05	3,28	0,53	0,06	2,92	0,54	0,08
Piraçununga-1	s/		2,90	0,28	0,08	2,73	0,22	0,16	3,26	0,22	0,18	3,79	0,50	0,06	1,91	0,24	0,09	1,83	0,28	0,14
	c/		2,54	0,28	0,09	2,48	0,21	0,12	2,41	0,21	0,15	3,51	0,54	0,06	1,86	0,39	0,08	1,70	0,34	0,11
Piraçununga-2	s/		2,86	0,24	0,07	3,32	0,20	0,16	3,40	0,24	0,20	3,06	0,53	0,06	1,87	0,31	0,09	2,17	0,32	0,15
	c/		2,44	0,25	0,12	3,07	0,29	0,15	2,74	0,37	0,18	3,50	0,48	0,07	1,65	0,30	0,08	1,82	0,29	0,15
Botucatu-1	s/		3,03	0,46	0,18	3,32	0,52	0,23	3,38	0,42	0,19	2,07	0,41	0,11	1,84	0,40	0,13	1,79	0,36	0,12
	c/		2,92	0,47	0,18	2,67	0,40	0,18	2,78	0,39	0,15	2,69	0,35	0,12	1,74	0,32	0,14	1,93	0,33	0,13
Botucatu-2	s/		2,45	0,23	0,14	2,34	0,21	0,16	2,43	0,20	0,15	2,10	0,26	0,14	2,17	0,25	0,14	2,33	0,27	0,14
	c/		2,62	0,25	0,15	2,45	0,32	0,19	2,34	0,30	0,27	1,87	0,27	0,11	1,77	0,27	0,15	1,74	0,13	0,14
Matão	s/		2,37	0,66	0,15	1,86	0,54	0,25	1,83	0,46	0,22	2,97	0,49	0,07	1,74	0,30	0,08	1,48	0,29	0,10
	c/		2,08	0,61	0,17	1,81	0,57	0,25	2,35	0,62	0,26	2,91	0,53	0,06	1,73	0,34	0,08	1,53	0,27	0,11
Catalão	s/		2,40	0,32	0,23	2,50	0,39	0,39	2,44	0,33	0,34	2,17	0,33	0,08	2,45	0,23	0,11	1,67	0,24	0,12
	c/		2,24	0,40	0,26	2,78	0,38	0,38	2,57	0,37	0,30	1,43	0,29	0,10	1,57	0,28	0,12	1,77	0,33	0,12
S.S. Paraíso-1	s/		2,35	0,44	0,17	2,51	0,43	0,27	2,62	0,50	0,30	3,25	0,47	0,07	1,90	0,26	0,08	1,53	0,21	0,13
	c/		2,53	0,54	0,21	2,57	0,45	0,32	2,47	0,43	0,30	2,74	0,44	0,07	1,66	0,28	0,10	1,62	0,24	0,11
S.S. Paraíso-2	s/		2,65	0,29	0,23	2,39	0,22	0,25	2,52	0,21	0,23	2,60	0,48	0,06	1,54	0,24	0,10	1,67	0,22	0,15
	c/		2,49	0,24	0,20	2,36	0,24	0,23	2,42	0,28	0,20	2,04	0,44	0,09	1,59	0,28	0,14	1,67	0,24	0,14
Rio Paranaíba	s/		2,82	0,29	0,15	2,74	0,28	0,19	2,49	0,26	0,27	2,98	0,30	0,06	2,23	0,15	0,07	1,38	0,15	0,12
	c/		2,23	0,35	0,20	2,16	0,30	0,22	2,29	0,24	0,23	2,54	0,29	0,08	1,47	0,17	0,10	1,67	0,12	0,12

(1) s/ = ausência e c/ = presença de calagem, conforme recomendações.

giloso) a deficiência de enxofre no milho mostrou-se menos severa, mesmo na dose zero de gesso do segundo cultivo.

Os teores de fósforo total na parte aérea do milho refletem as quantidades de fósforo disponível, nos solos após os dois cultivos. Comparando-se os dados das tabelas 4.2. e 4.10, verifica-se, que os maiores teores de fósforo total nas plantas e fósforo disponível nos solos referem-se justamente aos solos de textura arenosa e dose zero de gesso. Esses altos níveis de P (nos solos e plantas) contribuem para acentuar o desequilíbrio entre P e S, como será demonstrado através da razão P/S versus absorção de enxofre pelo milho. Nos solos mais argilosos a razão P/S tendem a ser mais equilibrada: o maior poder de fixação de fósforo (ALMEIDA NETO & BRASIL SOBRº, 1977) e o maior potencial de fornecimento de enxofre (veja tabela 4.7.) podem ser responsabilizados pelo suprimento mais balanceado de enxofre e fósforo às plantas, mesmo com altas adubações fosfatadas.

4.6.2. RELAÇÕES DO ENXOFRE TOTAL E RAZÕES N/S E P/S NA PARTE AÉREA DO MILHO VERSUS PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE ENXOFRE

Na tabela 4.11 estão listados os coeficientes de determinação (r^2 e R^2) da produção de matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre versus per-

Tabela 4.11 - Coeficientes de determinação (R^2 e r^2) da produção de matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre versus porcentagem de enxofre total e razões N/S e P/S, em dois cultivos de milho.

Variável Independente	Produção de matéria seca			Absorção de enxofre		
	1º cultivo	2º cultivo	Conjunta	1º cultivo	2º cultivo	Conjunta
Enxofre total (1)	n = 108 (4)			n = 108		
Solos C < 1,2 (3)	0,0903	0,4149	0,2965	0,4768	0,6931	0,6813
Solos C > 1,2	0,0059	0,0979	0,0208	0,1252	0,1953	0,02236
Relação N/S (2)						
Solos C < 1,2	0,1850	0,5812	0,5163	0,7655	0,7396	0,7533
Solos C > 1,2	0,2807	0,7094	0,4883	0,7652	0,8716	0,8607
Relação P/S (3)						
Solos C < 1,2	0,0132	0,4739	0,3029	0,1130	0,7119	0,6400
Solos C > 1,2	0,0084	0,5606	0,3246	0,0510	0,7156	0,6328

(1) Para o enxofre usou-se o modelo polinomial (2º grau).

(2) para as relações N/S e P/S, usou-se o modelo exponencial $Y = a.e^{bx}$

(3) Solos C < 1 e C > 1 - teores de carbono nos solos menores e maiores do que 1,2%, respectivamente.

(4) Níveis de significância a 5% (*) e 10% (**) de probabilidade de R na equação polinomial de 2º grau - $R > 0,212$ (n = 216) e $R > 0,297$ (n = 108) e r na equação exponencial $Y = a.e^{bx}$ - $r > 0,181$ (n = 216) e $r > 0,254$ (n = 108).

centagem de S total e razões N/S e P/S. Nota-se que os coeficientes de determinação da produção de matéria seca são mais baixos do que os da absorção de enxofre. Dados de McCLUNG et alii (1959) demonstraram que o volume total de solo explorado restringe a expansão do sistema radicular, com produção de matéria seca consequentemente menor, porém sem maiores efeitos na absorção de enxofre pelo milho. Em trabalhos de correlação sobre disponibilidade de nitrogênio GASSER (1963) também verificou estas mesmas restrições para os experimentos de casa-de-vegetação, se comparados com experimentos de campo.

Embora nos solos arenosos (com teores de carbono inferiores a 1,2%) os coeficientes de determinação (r^2 e R^2) da produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho versus enxofre total se tenham mostrado superiores aos dos solos argilosos, os coeficientes das razões N/S e P/S tem mostrado relações mais estreitas, independentemente dos seus teores de carbono. Analisaremos, a seguir, cada caso, em particular.

4.6.2.1. Enxofre total na parte aérea do milho versus produção de matéria seca e absorção de enxofre

Para se estabelecer as relações de produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho, versus en

Figura 4.4 - Produção de matéria seca de milho versus teores de enxofre total nas plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono ($o = C < 1,2\%$ e $o = C > 1,2\%$) e pelos cultivos (— = primeiro cultivo e --- = segundo cultivo).

xofre total nas plantas usou-se o modelo polinomial de segundo grau, discriminando-se os solos pelos teores de carbono. Observa-se nas figuras 4.4. e 4.5. que somente foi possível determinar o nível crítico de enxofre total (0,14 %) versus produção de matéria seca nos solos arenosos no primeiro cultivo, o que concorda com o valor de 0,16% encontrado por FONTES(1979) para o sorgo granífero. Com relação à absorção de enxofre o nível crítico foi de 0,20 % para o enxofre total no milho. A regressão obtida para os solos mais argilosos (carbono superior a 1,2 %) no primeiro cultivo não permitiu a estimativa dos níveis críticos de enxofre total nas plantas de milho. No segundo cultivo encontrou-se o mesmo nível crítico de 0,14 % para a produção de matéria seca e absorção de enxofre nos solos arenosos; nos argilosos o esgotamento do enxofre nativo e as altas doses de adubação nitrogenada e fosfatada ensejaram níveis críticos mais elevados de enxofre total, de 0,20 % para a produção de matéria seca e de 0,30% para a adsorção de enxofre. Essas diferenças podem ser atribuídas aos potenciais de mineralização de enxofre maiores dos solos argilosos e com teores de carbono mais altos. Pelo exposto não se pode tomar o nível crítico de enxofre total nas plantas com um valor estático, pois ele pode variar em função de teor de enxofre disponível nos solos, níveis de N, P e outros nutrientes disponíveis no solo ou adicionados pela adubação, reação do solo, e estágio de desenvolvimento das plantas.

1º Cultivo (—) $Y_e = -41,08 + 1049,4 X - 2559,48X^2$
 $R^2 = 0,476^{***} (n = 108)$

$Y_o = 146,80 - 665,20X + 1880,8/X^2$
 $R^2 = 0,1252^{**} (n = 108)$

2º Cultivo (---) $Y_e = -40,41 + 954,45 X - 1597,3/X^2$
 $R^2 = 0,6931^{***} (n = 108)$

$Y_o = -19,20 + 894,65 X - 2230,12X^2$
 $R^2 = 0,1953^{**} (n = 108)$

Figura 3.5 - Adsorção de enxofre pelo milho versus teores de enxofre total nas plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono ($o = C < 1,2\%$ e $o = C > 1,2\%$) e pelos cultivos (— = primeiro cultivo e --- = segundo cultivo).

Com relação a forrageiras tropicais o nível crítico de S total é de difícil interpretação, devido ao rápido declínio de seus níveis ao longo do período de desenvolvimento das plantas. Em geral, as forrageiras costumam apresentar crescimento rápido. Segundo SMITH & DOLBY (1977), em capim colômbio, o nível crítico diminui de 0,15% aos 18 dias após a rebrota para 0,13% e 0,08%, respectivamente 7 e 14 dias mais tarde. Nas condições desse experimento verificou-se ainda que em solos de diferente textura, com diferentes teores de carbono, adubações pesadas de nitrogênio e fósforo tem influência marcante nas razões N/S e P/S.

4.6.2.2. Razões N/S e P/S versus produção de matéria seca e absorção de enxofre

De um modo geral, segundo COLEMAN (1966) a deficiência de enxofre, a nível mundial, manifesta-se com maior frequência em solos arenosos. Em condições brasileiras a deficiência de enxofre é detectada em diversas situações. McCLUNG & FREITAS (1959) afirmam que as constantes queimadas da vegetação dos cerrados conduzem à perda do enxofre por volatilização, que chega 75%. McCLUNG & QUINN (1959) e WANG et alii (1976a,b) constataram a rápida depleção do enxofre nativo, quando são usadas doses elevadas de fertilizantes NP isentos de enxofre. Nas condições desse

experimento verificaram-se relações muito estreitas das razões N/S e P/S versus produção de massa seca e absorção de enxofre pelo milho, como consta na tabela 4.11. Ao contrário do teor de S total na parte aérea do milho, as razões N/S do primeiro e segundo cultivos e conjunta apresentam coeficientes de determinação mais elevados para os solos argilosos (com maiores teores de carbono) se comparados com os solos arenosos, apesar de altamente significativos a 1% de probabilidade, em ambos os casos. Na figura 4.6. temos as respectivas equações de regressões (modelo exponencial $Y = a e^{bx}$). Constata-se que o esgotamento progressivo do enxofre nativo e adicionado aos solos é agravado pela adubação nitrogenada, provocando o desbalanço do enxofre em relação ao nitrogênio. As curvas referentes ao primeiro cultivo mostram que o valor crítico da razão N/S no primeiro cultivo está ao redor de 10/1 para os solos mais argilosos, valor esse que se aproxima do encontrado por McNAUGHT & CHRISTOFFELS (1961), para gramíneas (N/S = 11 a 12/1).

WOODHOUSE (1969) verificou que uma razão N/S maior do que 17/1 limita o desenvolvimento do capim "Coastal" bermuda (*Cynodon dactylon* L.). O autor considera que esta situação ocorre com a aplicação de cerca de 450 kg/ha de N, juntamente com um teor de S no tecido de 0,14%. Nas condições desse experimento o nível crítico de S no tecido foi de 0,14% para os solos arenosos, correspondendo a uma razão N/S por volta de 10. Deve-se atentar por outro lado, pa

Figura 4.6 - Adsorção de enxofre pelo milho versus razões N/S das plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono (o = $C < 1,2\%$ e o $C > 1,2\%$) e pelos cultivos (— = primeiro cultivo e --- = segundo cultivo).

ra o fato de no primeiro cultivo terem sido aplicados 240 kg/ha de N. A deficiência de enxofre tornou-se mais severa no segundo cultivo dos solos, pois as razões N/S obtidas mostram redução mais acentuada na absorção de enxofre, estimado pelo modelo exponencial, como mostra a figura 4.6. O decréscimo na absorção de enxofre é agravado no segundo cultivo porque novamente foram aplicados 240 ppm de N, exacerbando o desbalanço entre N e S no solo e na parte aérea do milho. A razão N/S segundo PUMPHREY & MOORE (1965) tem a vantagem de permanecer relativamente constante nos diversos estádios de desenvolvimento das plantas. Essa opinião é confirmada pelos dados de MARTIN & MATOCHA (1973) e MAYNARD et alii (1983), que obtiveram, respectivamente, produções relativas de grama "Coastal" bermuda (*Cynodon dactylon* L.) e de sementes de colza (*Brassica napus* e *B. campestris*) inversamente proporcionais à razão N/S. As relações encontradas para o S total nas plantas (massa total e sementes), conforme os autores acima citados, são de nenhuma ou pouca significância, devido à grande variação de seu teor em função do estágio de desenvolvimento das plantas (SMITH & DOLBY, 1977) e variações climáticas (CLARK & LEWIS, 1974).

Na tabela 4.11. ainda observamos os coeficientes de determinações (r^2) da produção de matéria seca e absorção de enxofre versus razões P/S nas plantas de milho. No primeiro cultivo, tanto para a matéria seca quanto

para a absorção de enxofre os coeficientes de determinação não lograram significância estatística. A alta significância dos coeficientes no segundo cultivo explica-se pela disponibilidade de grandes quantidades de fósforo nos solos, como se vê na tabela 4.2. (após o primeiro e segundo cultivos) e pelos maiores teores de P total em relação ao S total nas plantas (veja tabela 4.10). Como consequência tiveram-se altas razões P/S nas plantas, inversamente proporcionais à produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho. Na figura 4.7. as equações de regressão conjunta (primeiro mais segundo cultivos) e as referentes ao segundo cultivo isoladamente mostram relações curvilineares muito estreitas entre as razões P/S das plantas de milho e a absorção de enxofre. Todavia, não é possível identificar precisamente o valor da razão P/S que caracteriza a deficiência de enxofre para o milho. Tentativamente, propõe-se o nível de 1/1 para a razão P/S. É escassa a literatura sobre a razão P/S como indicativo da deficiência de enxofre em plantas. MALAVOLTA et alii (1984a) consideram a relação $P/S > 2$ como indicadora de deficiência de enxofre em capim colonião. Em experimento com colza MALAVOLTA et alii (1984b) nos tratamentos sem enxofre estabeleceram a deficiência de enxofre com as relações $P/S = 0,6$ na lâmina foliar e $P/S = 0,5$ no pecíolo.

Os dados desse experimento chamam a atenção para o fato de que em solos arenosos o desequilíbrio fós-

2º Cultivo (---) $Y_{\bullet} = 108,33 \cdot e^{-0,302 P/S}$

$R^2 = 0,7156^{***} (n = 108)$

$Y_o = 93,16 \cdot e^{-0,230 P/S}$

$R^2 = 0,7119^{***} (n = 108)$

Conjunta (—) $Y_{\bullet} = 94,39 \cdot e^{-0,221 P/S}$

$R^2 = 0,640^{***} (n = 108)$

$Y_o = 138,58 \cdot e^{-0,331 P/S}$

$R^2 = 0,6321^{***} (n = 108)$

Figura 4.7 - Adsorção de enxofre pelo milho versus razões P/S nas plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono ($\bullet = C < 1,2\%$ e $o = C > 1,2\%$) e pelos cultivos (--- = segundo cultivo e — = conjunta, dos dois cultivos).

foro/enxofre pode evidenciar-se com mais facilidade, o que é corroborado pelos experimentos de McCLUNG & QUINN (1959) com grama batatais, mostrando interação significativa entre adubações fosfatada e sulfatada na produção de matéria seca no terceiro corte. Em solos arenosos da Dinamarca JENSEN(1963) considera que adubações fosfatadas pesadas levam à lixiviação do $S-SO_4^{=}$ para as camadas mais profundas. Tentativamente MALAVOLTA (1980) propõe que a relação P_2O_5/S na adubação seja igual a 7-10/1, como meio de prevenir a deficiência de enxofre nos solos.

4.7. RELAÇÕES DE CARBONO, ENXOFRE TOTAL, RAZÃO C/S E POTENCIAIS DE MINERALIZAÇÃO DE ENXOFRE DOS SOLOS ENTRE SI E COM A ABSORÇÃO DE ENXOFRE PELO MILHO.

Na tabela 4.12. tem-se os coeficientes de correlação linear simples entre carbono, enxofre total razão C/S e potenciais de mineralização de enxofre. Já se observou na secção 4.1.1. que a metodologia empregada na determinação do enxofre total apresenta sérios problemas de repetibilidade dos resultados. Isso explica, em parte, a baixa correlação obtida entre o S total dos solos versus absorção de enxofre pelo milho, tanto na ausência quanto na presença de calagem ($r=0,234$ n.s. $r=0,137$ n.s., respectivamente). Como alternativa diversos pesquisadores tem associado o teor de enxofre total dos solos com o carbono

Tabela 4.12 - Matriz de correlação linear simples de parâmetros de solos entre si e entre a absorção de enxofre pelo milho.

Parâmetros dos solos	Absorção de enxofre pelo milho			Parâmetros dos solos			
	1º cultivo	2º cultivo	Conjunta	%C	%S	C/S	S _o
% Carbono	n = 36 ⁽⁴⁾			n = 72 ⁽⁴⁾	n = 12 ⁽⁴⁾	n = 7 ⁽⁴⁾	
s/ ⁽¹⁾	0,441	0,134	0,352	-	-	-	0,5100
c/	0,754	0,457	0,610	-	-	-	0,7680
% Total	s/	-	-	0,6751	-	-	0,6770
	c/	-	-	-	-	-	0,5400
C/S	s/	0,313	-	-	-	-	-
	c/	0,514	-	-	-	-	-
S _o ⁽²⁾	s/	0,278 (n=21)	-	-	-	-	-
	c/	0,401 (n=21)	-	-	-	-	-
	s/+c/	0,468 (n=42)	-	-	-	-	-
S _o ⁽³⁾	s/	0,373 (n=21)	-	-	-	-	-
	c/	0,797 (n=21)	-	-	-	-	-
	s/+c/	0,735 (n=42)	-	-	-	-	-

(1) Ausência (s/) e presença (c/) de calagem, conforme recomendações.

(2) Absorção de enxofre em valores absolutos versus potencial de mineralização de enxofre (S_o) de solos não cultivados.

(3) Absorção de enxofre em valores relativos [(S⁻/S₂₀) x 100] versus potencial de mineralização de enxofre (S_o) de solos não cultivados.

(4) Valores significativos de r (P<0,05) - n(7) = 0,754; n(12) = 0,576, n(21) = 0,413; n(30) = 0,325; n(42) = 0,304; n(72) = 0,232.

orgânico, em virtude da facilidade de sua determinação. Nos solos utilizados nesse experimento obteve-se a correlação linear $r = 0,657^*$, com baixa significância. NASCIMENTO & MORELLI (1980a), no entanto, obtiveram correlações altamente significativas entre enxofre total versus carbono orgânico ($r = 0,913^{**}$) e enxofre total versus enxofre orgânico ($r = 0,970^{**}$), trabalhando com solos do Rio Grande do Sul. FONTES (1979), em solos de Minas Gerais, obteve correlação altamente significativa entre o carbono orgânico e o enxofre de reserva, orgânico ($r = 0,913^{**}$). Da mesma forma, as correlações entre o carbono orgânico e enxofre total e razão C/S versus o enxofre potencialmente mineralizável (S_o) são muito baixas. Na tabela 4.12. vê-se que apenas a correlação entre o carbono e o enxofre potencialmente mineralizável, na presença de calagem, apresentam significância ao nível de 5% ($r = 0,768^*$). A razão C/S, nas condições desse experimento, apresentou correlação positiva com a absorção de enxofre, embora significativa apenas na presença de calagem ($r = 0,514^{**}$), o que contraria dados de literatura. NASCIMENTO & MORELLI (1980b) obtiveram correlação negativa da produção relativa de alfafa com a relação C/S ($r = -0,849^{**}$). Essa discrepância pode ter explicação nas mais variadas razões C/S dos solos - em alguns trabalhos de revisão de literatura a razão era tida como constante, por volta de 100/1. Todavia, segundo BETTANY & STEWART (1983) a razão C/S varia de 60 a 150/1, podendo, em casos extremos, alcançar valores superiores a 300/1, como em solos de florestas

e turfas de regiões frias. Os solos utilizados nesse experimento possuem razões C/S bem mais baixas, variando de 33 a 122/1, aproximando-se dos valores encontrados por Mohr (1948), citado por MALAVOLTA (1950), em alguns solos do Rio Grande do Sul.

4.7.1. RELAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ENXOFRE PELO MILHO VERSUS TEORES DE CARBONO NOS SOLOS SUBME- TIDOS A DOIS CULTIVOS NA AUSÊNCIA E PRE- SENÇA DE CALAGEM

Nas condições desse experimento o carbono orgânico dos solos revelou-se um bom indicador da capacidade de fornecimento de enxofre às plantas. Na figura 4.8. constam as equações de regressão da absorção de enxofre versus o carbono dos solos. Com a exclusão do solo do Rio Paraná obtiveram coeficientes de correlação mais elevados do que os da tabela 4.12. com a inclusão de todos os solos estudados. As relações mais estreitas foram obtidas na presença de calagem e no primeiro cultivo. Por outro lado, tanto na ausência como na presença de calagem, os menores coeficientes angulares das equações de regressão do segundo cultivo, comparados aos do primeiro denunciam o esgotamento das formas de enxofre mais facilmente disponíveis para as plantas. Na ausência de calagem as equações de regressão demonstram que as menores quantidades absorvidas de enxofre são consequência da imobilização do enxofre (via

Figura 4.8 - Adsorção de enxofre (mg / vaso) pelo milho e a percentagem de carbono nos solos submetidos a dois cultivos na ausência e presença de calagem e dose zero de gesso.

biológica) e da adsorção de $S-SO_4^-$ aos sítios de troca. Assim, os efeitos da calagem na disponibilização do enxofre traduzem-se na mineralização de matéria orgânica (WILLIAMS, 1967; SWIFT, 1985) e dessorção do $S-SO_4^-$ dos sítios de troca aniônica (PROBERT, 1976; COUTO et alii, 1979). Comparando-se as interações entre calagem e cultivos (veja tabela 4.6. e 4.7.) com as equações da figura 4.8., compreende-se que o esgotamento do enxofre nativo dos solos é mais acentuado com a prática da calagem.

4.7.2. RELAÇÃO ENTRE POTENCIAIS DE MINERALIZAÇÃO DE ENXOFRE DOS SOLOS E ABSORÇÃO RELATIVA DE ENXOFRE PELO MILHO

Na tabela 4.12. vê-se que a absorção de enxofre (em valores absolutos) versus potenciais de mineralização de enxofre nativo dos solos apresenta coeficientes de correlação linear mais baixos do que quando esta relação foi calculados com os valores relativos de absorção $(S^-/S_{20}) \times 100$, onde S^- significa ausência e S_{20} a dose de 20 ppm de S. Utilizando-se os valores absolutos de absorção de enxofre verificou-se significância estatística a 5% na análise conjunta dos tratamentos com ausência e presença de calagem ($r = 0,468^*$). Pela figura 4.9. observa-se que os potenciais de mineralização de enxofre - estimado por equações hiperbólicas (veja tabela 4.5. e figura 4.2.) a partir do enxofre mineralizado por incubação aberta) são es-

Figura 4.9 - Potenciais de mineralização (S_0), estimados pela equação hiperbólica (STANFORD & SMITH, 1972) versus adsorção relativa de enxofre ($S^-/S_{20} \times 100$), na ausência e presença de calagem.

treitamente correlacionados com a absorção relativa do enxofre pelo milho na presença da calagem ($r = 0,797^{**}$). Na ausência de calagem houve pequena absorção de enxofre, concomitantemente com a baixa mineralização de enxofre nos sete solos usados no experimento de incubação aberta. A baixa correlação obtida na ausência de calagem ($r = 0,373$ ns) deve-se à dispersão dos pontos no gráfico, principalmente aqueles circunscritos e indicados por uma flecha e se referem ao solo de Catalão. Esses "outliers" da equação de regressão sugerem que grande parte do enxofre disponibilizado pela calagem provém da dessorção do $S-SO_4^-$ dos sítios de troca aniônica, o que, entretanto, somente poderá ser confirmado através de experimentos de adsorção e dessorção de $S-SO_4^-$ na ausência e presença de calagem.

Os potenciais de mineralização de enxofre obtidos no experimento de incubação mostram que em experimentos futuros será necessário trabalhar com um número maior de solos, com uma faixa mais ampla de matéria orgânica, para que se possa agrupar solos com similares capacidades de suprimento de enxofre para as plantas. Por outro lado, devem-se experimentar outros modelos estimadores dos potenciais de mineralização do enxofre dos solos. É possível que os modelos matemáticos de duplos exponenciais discutidos por MOLINA et alii (1980) e utilizados por JUMA et alii (1984) possam discriminar as diferentes formas de enxofre do solo, passíveis de ser disponibilizadas através da incubação e da calagem.

4.8. CORRELAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE ANÁLISES DE ENXOFRE-SULFATO DISPONÍVEL NOS SOLOS E DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS CRÍTICOS

Os métodos (técnicas) de análises de solos pretendem simular a extração dos nutrientes pelas plantas. A sua utilização, para fins de recomendações de adubação ou correção dos solos, somente é possível caso for estabelecida a correlação entre os resultados analíticos e a resposta das culturas. Entretanto, não existem teorias ou conceitos que determinem "a priori" a escolha de modelos (físicos e/ou formais) para avaliação dos níveis críticos de nutrientes nos solos que maximizem a produção física e otimizem em termos econômicos. Desenvolveram-se diversos conceitos e "leis", tais como a "lei" do mínimo de Justus von Liebig (RUSSEL, 1973), a "lei" dos incrementos decrescentes de Mitscherlich (MENGEL & KIRKBY, 1980), o conceito de percentagem de suficiência de Baule (TISDALE & NELSON, 1975) e o conceito de mobilidade de nutrientes (BRAY, 1948). Segundo RAIJ (1981) o conceito de mobilidade de nutrientes tenta conciliar a "lei" do mínimo com o conceito de percentagem de suficiência. Os nutrientes relativamente imóveis como o fósforo, o potássio, o cálcio e o magnésio teriam comportamento mais relacionado com o conceito de percentagem de suficiência. Os nutrientes móveis como o nitrogênio-nítrico (e a água, segundo BRAY, 1948), comportar-se-iam mais de acordo com a lei do mínimo.

Outros conceitos como a percentagem de resposta e a resposta atual foram empregados por HOEFT et alii (1973) e FONTES (1979) na avaliação do enxofre-sulfato disponível nos solos via diversos extratores. Os dois conceitos acima baseiam-se na premissa de que a resposta da produção (ou absorção) à adubação é inversamente proporcional à quantidade do elemento nativo (em forma disponível) presente nos solos.

4.8.1. CORRELAÇÃO DO $S-SO_4^{=}$ DISPONÍVEL NOS SOLOS VERSUS ABSORÇÃO DE ENXOFRE

Dentre os extratores testados rejeitou-se o HCl 0,05 M, idealizado por ISLAM & PONNAMPERUMA (1982) para solos de várzeas. Esse extrator não apresentou comportamento satisfatório em solos de sequeiro por não se enquadrar no pré-requisito básico da determinação turbidimétrica de $S-SO_4^{=}$: a obtenção de extratos de solos absolutamente limpidos. Na tabela 4.4. observa-se que os piores coeficientes de correlação ocorreram entre produção de matéria seca (e absorção de enxofre) versus o extrator HCl 0,0 M. Com o agrupamento dos solos pelos teores de carbono, aqueles com teores menores que 1,2% (todos eles arenosos) apresentaram coeficientes de correlação baixos, embora significativos. Nos solos mais argilosos, com teores de carbono superiores a 1,2% a correlação do extrator HCl 0,05M com a

produção de matéria seca ($r = 0,037$ ns) e absorção de enxofre ($r = 0,033$ ns) simplesmente é inexistente. A observação visual dos extratos acusou coloração vermelho-amarelada, cuja remoção não foi possível nem mesmo com a adição de carvão ativado e filtrações sucessivas. Essa coloração também foi observada nos extratos dos latossolos arenosos, como de Assis e de Botucatu-1.

Devido à grande variação entre o comportamento dos solos, notou-se grande dispersão dos pontos gráficos de absorção de enxofre versus $S-SO_4^{=}$ disponível, extraído com $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm em ácido acético 2,0 N (figura 4.12), NH_4OAc 0,5N (figura 4.11.) e $CaCl_2$ 0,15% (figura 4.10.). Vê-se que a capacidade de extração de $S-SO_4^{=}$ é sensivelmente diminuída nos solos argilosos, para os três extratores estudados, à semelhança do que ocorre com o fósforo disponível nos solos. Por essa razão optou-se pelo agrupamento dos solos em duas classes, isto é, argilosos (com teor de carbono maior que 1,2%) e arenosos. As equações de regressão foram calculadas e os diagramas de dispersão de pontos plotados a partir de médias de três repetições.

4.8.1.1. Correlação entre absorção de enxofre pelo milho e $S-SO_4^{=}$ extraído por $CaCl_2$ 0,15%

Para o estudo da correlação entre a absorção de enxofre pelo milho e $S-SO_4^{=}$ extraído por $CaCl_2$ 0,15%

obtiveram-se os diagramas de dispersão de pontos constantes na figura 4.10., com as respectivas equações de regressão:

a) Solos com teores de carbono menores que 1,2% =

$$Y = 18,37 + 1,86X - 68,88 \cdot 1/X$$

$$R = 0,769^{***}(n = 72) :$$

b) Solos com teores de carbono maiores que 1,2%

$$Y^* = 48,86 + 2,90X - 158,88 \cdot 1/X$$

$$R = 0,662^{***}(n = 72)$$

Os coeficientes de determinação das duas equações mostram que nos solos argilosos com maiores teores de carbono houve mais dispersão dos pontos. Na figura 4.10, observa-se que a calagem influenciou significativamente na extração de maiores quantidades de $S-SO_4^{=}$ por $CaCl_2$ 0,15%. Segundo HOEFT et alii (1973) as soluções diluídas de $LiCl$ e $CaCl_2$ extraem apenas o $S-SO_4^{=}$ prontamente solúvel em água, pois o ânion Cl^- não é capaz de deslocar o $S-SO_4^{=}$ adsorvido aos colóides dos solos. Assim é possível atribuir à dessorção de $S-SO_4^{=}$ e à mineralização da matéria orgânica (WILLIAMS & STEINBERGS, 1967; SINGH, 1984b; MARTINI & MUTTERS, 1984) a maior absorção de enxofre pelo milho. No experimento de incubação aberta em laboratório também se lixiviaram maiores quantidades de $S-SO_4^{=}$ por efeito da calagem (veja figura 4.2 e tabela 4.5.).

As correlações obtidas entre absorção de en

xofre e $S-SO_4^-$ extraído por $CaCl_2$ 0,15% nas condições desse experimento (veja tabela 4.4. e figura 4.10.) aproximam-se bastante daquelas obtidas por outros pesquisadores (WILLIAMS & STEINBERGS, 1959; KOWALENKO & LOWE, 1975; CALVET, 1986). Apesar de o $CaCl_2$ 0,15% apresentar extratos bem límpidos após duas filtrações, esse extrator apresenta o inconveniente de facilitar o crescimento de fungos. Isso implica na imediata determinação analítica do $S-SO_4^-$ dos extratos, ou então no seu armazenamento em refrigerador.

Um outro aspecto que deve ser observado, é que as quantidades de $S-SO_4^-$ extraído por $CaCl_2$ 0,15%, nas condições desse experimento são, de um modo geral, mais elevadas que as encontradas por outros autores (WILLIAMS & STEINBERGS, 1959; WILLIAMS & STEINBERGS, 1967; BEATON & FOX, 1971). Como na extração não se usou o carvão ativado para auxiliar no clareamento dos extratos, aventa-se a possibilidade de que a secagem tenha aumentado as quantidades de $S-SO_4^-$ extraível por $CaCl_2$ 0,15%, segundo observações de FRENEY et alii (1962) e WILLIAMS & STEINBERGS (1964). Como já se comentou na secção 3.1.4., o carvão ativado consegue reduzir a um nível insignificante a variação dos teores de $S-SO_4^-$ nos solos, resultante da secagem e do armazenamento (PEVERILL et alii, 1974).

Figura 4.10 - Absorção de enxofre pelo milho versus S-SO₄ disponível via extrator CaCl₂ 0,15% referentes aos dois cultivos dos solos.

4.8.1.2. Correlação entre absorção de enxofre pelo milho e $S-SO_4^-$ extraído por NH_4OAc 0,5N

Para o estudo da correlação da absorção de enxofre pelo milho versus $S-SO_4^-$ extraído por acetato de amônio 0,5N obtiveram-se os diagramas de dispersão de pontos constantes na figura 4.11. Para os solos argilosos ($C > 1,2\%$) obteve-se a seguinte equação de regressão:

$$Y^* = 25,79 + 7,62X - 0,173X^2$$

$$R = 0,637^{***} (n = 72)$$

e para os solos arenosos ($C < 1,2\%$) a equação:

$$Y = -6,68 + 6,12X - 0,125X^2$$

$$R = 0,814^{***} (n = 72)$$

Os gráficos mostram que a capacidade de extração de $S-SO_4^-$ pelo acetato de amônio 0,5N é menor nos solos mais argilosos, à semelhança do que ocorre com os outros dois extratores estudados. REISENAUER et alii (1973) comentam que o extrator acetato de amônio 1,0N desloca o $S-SO_4^-$ solúvel em água e parte do $S-SO_4^-$ adsorvido. McCLUNG et alii (1959), por outro lado, consideram que em solos previamente fertilizados com adubos contendo altos teores de enxofre, o $S-SO_4^-$ adsorvido (principalmente no subsolo)

Figura 4.11 - Absorção de enxofre pelo milho versus S-SO₄ disponível via extrator NH₄ - OAc 0,5N em ácido acético 0,25N referentes aos dois cultivos dos solos.

pode ser uma importante fonte de enxofre para as plantas. Na figura 4.1.1. verifica-se que a calagem tem influência menos marcante na extração de $S-SO_4^-$ por acetato de amônio 0,5N do que a constatada para o extrator $CaCl_2$ 0,15%. Entretanto, em solos como o de Catalão, o $S-SO_4^-$ extraído pelo acetato de amônio 0,5 N em acético 0,25 N é maior na presença de calagem, porque não houve maior adsorção aos colóides dos solos. No solo de Rio Paranaíba, a calagem somente teve influência significativa na extração de $S-SO_4^-$ na dose mais elevada de $S-SO_4^-$ adicionado (40 ppm de S). Essa situação confirma que esse extrator tem pequena capacidade de extração de $S-SO_4^-$ em solos argilosos como Catalão e Rio Paranaíba na ausência de calagem. A absorção de enxofre mais elevada nos solos argilosos (com teores de carbono superiores a 1,2%), apesar de menor a extração, é prontamente explicada pela interação da calagem com a gessagem, conforme pode ser visto na tabela 4.6. de análise da variância conjunta e tabela 4.7. de comparações de médias. Entende-se, desse modo, a maior dispersão dos pontos na figura 4.11. e o menor coeficiente de correlação da equação calculada para os solos argilosos ($R = 0,637^{**}$), se comparada com o dos solos arenosos ($R = 0,814^{***}$). A maior absorção de enxofre no primeiro caso não teve correspondência na extração por acetato de amônio 0,5N. Todavia, os potenciais de mineralização dos sete solos estudados mostraram proporcionalidade aproximada com a absorção de enxofre pelo milho,

principalmente na presença de calagem (veja figura 4.9.).

Os coeficientes de correlação da absorção de enxofre obtidos por diversos autores mostram valores aproximadamente iguais, para diversas culturas, usando o NH_4HOAc 0,5N ou 1N. KANG et alii (1981) usando o milho como planta-teste em experimento de casa-de-vegetação com solos da Nigéria, obteve correlação linear simples muito significativa, entre absorção de enxofre e enxofre extraído por NH_4OAc 1N pH 7,0 ($r = 0,739^{***}$). PALASKAR & GHOSH (1981) por outro lado, trabalhando com solos da Índia e usando repolho como planta teste obteve correlação satisfatória entre produção relativa e S-SO_4^- extraído por NH_4OAc 0,5N ($r = 0,64^{**}$). NASCIMENTO & MORELLI (1980) obtiveram correlação não significativa entre produção relativa de alfafa com o mesmo método em solos do Rio Grande do Sul ($r = 0,526$ ns).

Como já foi comentado para o extrator CaCl_2 0,15%, os extratos de NH_4OAc 0,5N também não podem ser conservados à temperatura ambiente por tempo prolongado. A presença de fungos foi observada nos extratos quando os mesmos foram guardados à temperatura ambiente por períodos superiores a 4 ou 5 dias.

4.8.1.2. Correlação entre absorção de enxofre pelo milho e $S-SO_4^{=}$ extraído por $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm de P em ácido acético 2,0N

Na figura 4.12 tem-se o diagrama de dispersão de pontos de absorção de enxofre versus $S-SO_4^{=}$ extraído por $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N. Para os solos argilosos ($C > 1,2\%$) obteve-se a seguinte equação de regressão:

$$Y^* = 87,56 + 2,56X - 305,43 \cdot 1/X$$

$$R = 0,6698^{***} (n = 72)$$

e para os solos arenosos ($C < 1,2\%$) a equação:

$$Y = 67,38 + 0,54X - 280,40 \cdot 1/X$$

$$R = 0,840^{***} (n = 72)$$

Os gráficos da figura 4.12 mostram grande dispersão de pontos pelas mesmas razões já apontadas na secção 4.8.1.2. REISENAUER et alii (1973) consideram que o sulfato solúvel mais o adsorvido e mais uma fração do enxofre orgânico são extraíveis com $NaHCO_3$ e com as soluções de fosfatos em ácido acético. Nas condições desse experimento fizeram-se alguns pré-testes com bicarbonato de sô-

Figura 4.12 - Absorção de enxofre pelo milho versus S-SO₄²⁻, disponível via extrator Ca(H₂PO₄)₂ H₂O - 500 ppm P em ácido acético 2,0N, referentes aos dois cultivos dos solos.

dio, porém o método foi prontamente abandonado após infrutíferas tentativas de clareamento dos extratos com carvão ativado.

Nos solos argilosos a capacidade de extração de $S-SO_4^{=}$ pelo $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm de P em ácido acético 2,0N é significativamente menor do que nos solos arenosos. SEARLE (1979) e METSON (1979) atribuem essa menor capacidade de extração à fixação do fosfato da solução extratora por óxidos de ferro e alumínio dos solos. Para contornar o problema esses pesquisadores sugerem o aumento da relação solução extratora : solo. Apesar de essas restrições, o extrator foi o que apresentou o melhor desempenho, pois os extratos apresentaram-se completamente límpidos, não se notando aparecimento de fungos, mesmo depois de armazenados à temperatura ambiente pelo período de seis meses. As correlações entre absorção de enxofre e $S-SO_4^{=}$ extraído por $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm de P em ácido acético 2,0N obtidas nesse experimento para os solos arenosos ($R = 0,850^{***}$) e para os solos argilosos ($R = 0,670^{***}$) também foram obtidas por HOEFT et alii (1973), FONTES (1979) e KANG et alii (1981). Para se obter correlações mais estreitas entre absorção de enxofre e $S-SO_4^{=}$ extraível por fosfatos em ácido acético em solos brasileiros sugere-se que sejam testadas diversas relações solução : solo e o agrupamento dos solos em grupos mais homogêneos. Um dos critérios mais viáveis de agrupamento dos solos crê-se que seja

discutido na secção 4.7.2. O critério de agrupamento pelo teor de carbono, usado nesse experimento, pode não ser o mais adequado, por que altos teores de carbono não correspondem necessariamente a altos teores de enxofre disponível e vice-versa. Entretanto, o critério de agrupamento dos solos pelos seus potenciais de mineralização de enxofre somente se torna viável quando se dispuser dessa informação a partir de um número elevado de solos.

4.8.2, CALIBRAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISES DE ENXOFRE-SULFATO DISPONÍVEL E NÍVEIS CRÍTICOS NOS SOLOS

É crença corrente entre os cientistas de solos que todo programa de calibração de análises de disponibilidade de um nutriente nos solos deve ser precedida de experimentos de correlação em estufa, visando a funcionalidade do método de análise. Os experimentos de calibração, propriamente ditos, deveriam ser executados a campo e realizados obrigatoriamente para cada cultura em estudo. Devido ao alto custo operacional da experimentação a campo, as tentativas de se fazer a "calibração" de análise de solos, em caráter exploratório, com dados de experimentos de casa-de-vegetação são válidas.

Como os solos estudados nesse experimento apresentam grande variação com relação à disponibilidade de

enxofre transformaram-se os dados de produção de matéria seca para valores relativos, utilizando-se o conceito de percentagem de suficiência ou produção relativa (TISDALE & NELSON, 1975; RAIJ, 1981). Nas condições desse experimento os valores de produção relativa de matéria seca da parte aérea do milho foram obtidas a partir de curvas de resposta à adubação sulfatada, estimadas por regressão polinomial. Quando as curvas acusavam máximos de produção (Y) dentro da faixa estudada de doses de gesso (0, 20 e 40 ppm de S), esses valores foram usados como máximos da relação:

$$\text{Produção relativa} = \frac{\text{Produção observada}}{\text{Produção máxima estimada}} \times 100.$$

Todavia, quando as equações de regressão estimadas acusaram máximos fora da faixa estudada, tomou-se como denominador da relação acima o valor máximo observado para cada solo e cada cultivo separadamente. As curvas de "calibração" foram calculadas com dados médios de três repetições:

4.8.2.1. Produção relativa de matéria seca de milho versus $S-SO_4$ extraído por $CaCl_2$ 0,15%

Na figura 4.13. observa-se grande dispersão dos pontos, na locação da produção relativa de matéria seca de milho contra o $S-SO_4$ extraído por $CaCl_2$ 0,15%, computando-se todos os solos, na ausência e presença de cala-

Figura 4.13. Produção relativa de matéria seca de milho versus S-SO₄ disponível extraído por CaCl₂ 0,15% nos dois cultivos dos solos.

gem e nos dois cultivos. A equação de regressão:

$$Y = 94,95 + 0,24X - 194,51 \cdot 1/X$$

$$R = 0,518^{***} (n = 144)$$

mostra um coeficiente de correlação altamente significativo a 1% de probabilidade. Por interpolação verifica-se que para obter 90% da produção máxima, a análise de solo deve acusar 19 ppm de $S-SO_4^-$ extraível por solução de $CaCl_2$ a 0,15%. Este valor aproxima-se bastante da produção máxima, podendo assim ser considerado como o nível crítico de $S-SO_4^-$ no solo (19 ppm), acima do qual, existe reduzida possibilidade de se obter resposta à adubação sulfatada. Na literatura mundial os níveis críticos de $S-SO_4^-$, extraído por $CaCl_2$ 0,15% são significativamente menores do que o encontrado nas condições desse experimento. WALKER & DOORNENBAL (1972), em pastagem de leguminosas e gramíneas do Canadá estabeleceram o nível crítico de 3 ppm de $S-SO_4^-$ extraído por $CaCl_2$ 0,1M e BEATON & FOX (1971) o nível crítico de 6 ppm de $S-SO_4^-$ extraído por $CaCl_2$ 0,01M.

4.8.2.2. Produção relativa de matéria seca de milho versus $S-SO_4^-$ extraído por acetato de amônio 0,5N em ácido acético 0,25N

Na figura 4.14. igualmente se observa acen-

Figura 4.14 - Produção relativa de matéria seca de milho versus S-SO₄ disponível extraído por NH₄OAc 0,5N em ácido acético 0,25N nos dois cultivos dos solos.

tuada dispersão de pontos na locação da produção de matéria seca do milho contra o $S-SO_4$ extraído por acetato de amônio 0,5N em ácido acético nas mesmas condições do extrator $CaCl_2$ 0,15%. A equação de regressão:

$$Y = 87,70 + 0,39X - 66,93 \cdot 1/X$$

$$R = 0,592^{***} (n = 144)$$

mostra um coeficiente de correlação significativo a 1% de probabilidade, que permite a interpolação para 90% da produção relativa máxima, que corresponde a 17 ppm de $S - SO_4$ extraído por acetato de amônio 0,5N. Considerando-se esse valor como nível crítico, ele também difere consideravelmente dos encontrados na literatura. Em solos de cerrados de São Paulo e Goiás (Brasil), usando o milheto como planta-teste. McCLUNG et alii (1959) determinaram o nível crítico de 6-7 ppm. Para a alfafa HARWARD et alii (1962) encontraram o nível crítico de 12 ppm. Trabalhando com repolho, que é uma cultura de alta demanda de enxofre PALASKAR & GHOSH (1981) obtiveram o nível crítico de 30 ppm de $S-SO_4$, para alcançar 85% da produção relativa máxima, em solos da Índia.

Figura 4.15 - Produção relativa de matéria seca de milho versus S- SP_4 disponível extraído por $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N nos dois cultivos dos solos.

4.8.2.3. Produção relativa de matéria seca de milho versus $S-SO_4^-$ extraído por $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N

Na figura 4.15. tem-se a equação de regressão:

$$Y = 130,83 - 0,94X - 332,88 \cdot 1/X$$

$$R = 0,6377^{***} (n = 144)$$

com um coeficiente de correlação altamente significativo a 1% de probabilidade. Por interpolação, 11 ppm de $S-SO_4^-$ extraídos por $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm de P em ácido acético 2N correspondem a 90% da produção relativa máxima. Esse valor aproxima-se dos encontrados por HOEFT et alii (1973) para a alfafa em solos de Wisconsin (USA). Em solos de Minas Gerais, FONTES (1979) encontrou o nível crítico de 4 a 12 ppm de $S-SO_4^-$ para o extrator em questão, considerando cada solo individualmente. Um outro extrator - NaH_2PO_4 - em ácido acético 2N - com comportamento provavelmente similar ao $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm de P em ácido acético 2,0N foi estudado por COOPER (1968) em pastagens de Nova Zelândia, obtendo o nível crítico de 10 ppm de $S-SO_4^-$.

4.8.3. ABSORÇÃO RELATIVA DE ENXOFRE PELO MILHO VERSUS $S-SO_4$ ESTIMADO POR EXTRATORES QUÍMICOS

Os trabalhos de experimentação em vasos tem como inconveniente principal o crescimento restrito do sistema radicular, como mostram dados de McCLUNG et alii (1959). Essa restrição se traduz, segundo esses pesquisadores, em produção reduzida de matéria seca, porém sem maiores reflexos na absorção de um nutriente, no caso o enxofre pelo milheto. Por outro lado, SIMON-SYLVESTRE (1960) considera que no caso do enxofre não ocorre consumo de luxo, como para a maioria das culturas. Trabalhos mais recentes parecem contrariar as afirmações acima, principalmente em culturas com altos índices de produtividade, o que em muitos casos é sinônimo de capacidade de resposta a altas doses de nitrogênio. Já foi visto na seção 4.6.2. que relações N/S e P/S são inversamente proporcionais à produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho. Os trabalhos de JANZEN & BETTANY (1984) e de MAYNARD et alii (1983 b) afirmam que altas adubações nitrogenadas induzem o consumo de maiores quantidade de enxofre induzindo a deficiência do elemento nos solos. Em condições brasileiras esse fato já foi observado por McCLUNG & QUINN (1959) em solos de cerrado, por WANG et alii (1976 a, b) em solos de várzea da Amazônia e por FREITAS & JORGE (1982). Em todos os trabalhos acima a resposta ao enxofre aumentou com o tempo e a deficiência foi mais evidente com altas doses de nitrogênio.

Nas condições desse experimento as elevadas adubações nitrogenadas "forçaram" a absorção de enxofre, e levando os níveis críticos de enxofre total na parte aérea do milho, se considerada a absorção de enxofre (veja secção 4.6.1.). Da mesma maneira os níveis críticos de $S-SO_4^{=}$ extraível pelos três extratores estudados são substancialmente majorados, se, em vez da produção relativa de matéria seca, for usada a absorção relativa de enxofre versus extratores, como se observa na tabela 4.13. Apesar de os coeficientes de correlação serem mais elevados do que os das equações referentes à produção relativa de matéria seca de milho, o nível crítico de $S-SO_4^{=}$ nos solos é super-estimado sistematicamente para os três extratores. Pelo critério da matéria seca, o nível crítico de $S-SO_4^{=}$ nos solos pelo extrator acetato de amônia 0,5 N é de 17 ppm enquanto que pelo critério da absorção de enxofre estimaram-se níveis críticos de 18 ppm para os solos arenosos (C menor que 1,2 %) e de 30 ppm de $S-SO_4^{=}$ para os solos argilosos. Para o extrator $CaCl_2$ 0,15%, pelo critério da matéria seca, o nível crítico médio (considerando-se todos os solos) é de 19 ppm de $S-SO_4^{=}$, enquanto que pelo critério da absorção de enxofre o nível crítico médio é de 25 ppm. A menor discrepância entre os dois critérios é observada com o extrator $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ ~500 ppm de P em ácido acético 2,0 N: pela matéria seca o nível crítico é de 11 ppm de $S-SO_4^{=}$, contra um valor médio (com todos os solos) de 15 ppm para a absorção de enxofre.

Tabela 4.13 - Equações de regressão descritivas da relação entre a absorção relativa de enxofre pelo milho versus $S-SO_4^-$ extraível por três extratores e respectivos níveis críticos que estimam 90% da absorção relativa máxima (n=72).

Extra- tor	%C no solo	Equações de Regressão	R	N.C. ¹ $S-SO_4^-$
x_1 ²	<1,2%	$Y = 68,06 + 1,13X - 196,17 \cdot 1/X$	0,640** ³	26
	>1,2%	$Y = 79,00 + 0,81X - 186,75 \cdot 1/X$	0,535* ³	24
x_2	<1,2%	$Y = 94,49 + 0,45X - 230,56 \cdot 1/X$	0,798**	18
	>1,2%	$Y = 89,44 + 0,10X - 85,58 \cdot 1/X$	0,659**	30
x_3	<1,2%	$Y = 126,89 + 0,61X - 448,17 \cdot 1/X$	0,783**	17
	>1,2%	$Y = 150,27 + 1,67X - 506,70 \cdot 1/X$	0,776**	14

¹ N.C. - nível de $S-SO_4^-$ nos solos, pelo extrator considerado para estimar 90% da absorção relativa máxima.

² x_1 - extrator $CaCl_2$ 0,15%.

x_2 - extrator NH_4OAc 0,5N em $HOAc$ 0,25N

x_3 - extrator $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm P em $HOAc$ 2,0 N

³ ** e * - significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, com 72 pares de observações.

Uma explicação adicional para a superestimação do nível crítico de $S-SO_4^-$ disponível, independentemente do extrator usado, pode ser buscada no cultivo exaustivo dos solos, em condições de alta temperatura e alta evapo-

transpiração e nenhuma perda de $S-SO_4^{=}$ por lixiviação como ocorre em condições de campo.

4.9. RELAÇÕES CONJUNTAS DE ANÁLISES DE SOLOS E DE PLANTAS COM A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE ENXOFRE PELO MILHO

Para estabelecer as relações conjuntas de análises de solos e de plantas com a produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho (em valores absolutos), usou-se a técnica de regressão "stepwise", em que foram consideradas as seguintes variáveis independentes:

- a) análises de solos - pH, $H^+ + Al$, Ca, Mg e carbono e $S-SO_4^{=}$ disponível extraível por $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N;
- b) análises de plantas - enxofre total e razões N/S e P/S.

Excluïram-se do modelo de regressão linear múltipla as variáveis independentes que não atingiram o nível de significância a 10% de probabilidade. Agruparam-se os solos pelos seus teores de carbono, isto é, maiores e menores do que 1,2%.

4.9.1. RELAÇÕES DAS ANÁLISES DE SOLOS E DE PLANTAS NOS SOLOS COM TEORES DE CARBONO MAIORES DO QUE 1,2% COM A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE ENXOFRE PELO MILHO

Para os solos arenosos, com teores de carbono menores do que 1,2% calculou-se a seguinte equação de regressão linear múltipla para a relação da produção de matéria seca com as análises de solos e de plantas:

$$Y = 59,5 - 148,5 \%S - 0,66 N/S + 0,74 SO_4^{=}$$

$$R^2 = 0,5598^{***} (n = 216)$$

Na tabela 4.14 nota-se a contribuição altamente significativa dos teores de enxofre total e a razão N/S nas plantas e do teor de S-SO₄⁼ extraível por Ca(H₂PO₄)₂ . H₂O - 500 ppm P em ácido acético 2,0N. Esta contribuição confirma os resultados obtidos na análise individual das variáveis independentes consideradas. Pela tabela 4.11. percebe-se que a significância maior do coeficiente de determinação (R²) da produção de matéria seca versus enxofre total nas plantas ocorre no segundo cultivo dos solos. O mesmo ocorre com a razão N/S. A contribuição do S-SO₄⁼ disponível nos solos é confirmada pela regressão individual dessa variável com a produção de matéria seca (veja tabela 4.4. e figura 4.15.)

Tabela 4.14. - Coeficientes de regressão linear múltipla das relações de análises de solos e de plantas com a produção de matéria seca de milho (g/vaso) e absorção de enxofre (mg/vaso), obtidos por regressão "stepwise".

Variáveis independentes (X)	Matéria seca (g/vaso)			Absorção de enxofre (mg/vaso)		
	Coefficientes	F	Prob > F	Coefficientes	F	Prob > F
----- Solos com teores de carbono menores que 1,2% -----						
Intercepto	59,50	-	-	7,91	-	-
Enxofre total nas plantas - ZS	-148,50	54,41	0,0001	134,94	28,24	0,0001
Razão N/S nas plantas	- 0,66	149,39	0,0001	- 0,58	73,60	0,0001
S-SO ₄ ⁼ extraível - ppm (1)	0,74	62,97	0,0001	1,17	97,72	0,0001
pH do solo	-	-	-	3,34	9,01	0,0030
R ² (2)	0,5598	-	0,0001	0,7952	-	0,0001
----- Solos com teores de carbono maiores que 1,2% -----						
Intercepto	5,56	-	-	145,10	-	-
Enxofre total nas plantas - Z	- 29,38	7,96	0,0052	-	-	-
Razão N/S nas plantas	- 1,10	182,04	0,0001	- 3,12	92,52	0,0001
Razão P/S nas plantas	-	-	-	8,20	16,23	0,0001
S-SO ₄ ⁼ extraível - ppm (1)	-	-	-	3,01	68,72	0,0001
pH dos solos	10,18	20,36	0,0001	- 15,94	15,26	0,0001
Ca ⁺⁺ dos solos - me/100 g	- 2,97	11,40	0,0001	-	-	-
Mg ⁺⁺ dos solos - me/100 g	10,14	18,61	0,0001	-	-	-
H ⁺ + Al ⁺⁺⁺ dos solos - me/100 g	5,41	48,81	0,0001	- 4,78	10,04	0,0018
Carbono dos solos - ZC	30,71	34,04	0,0001	54,11	34,70	0,0001
R ² (2)	0,5303	-	0,0001	0,7185	-	-

(1) S-SO₄⁼ extraível por Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O - 500 ppm P em ácido acético 2pN.

(2) R² = coeficiente de determinação linear múltipla, com 216 observações.

A equação de regressão linear múltipla calculada para a absorção de enxofre:

$$Y = 7,91 + 134,94 \%S - 0,58 N/S + 1,175 SO_4 + 3,34 \text{ pH}$$

$$R^2 = 0,7952^{***} \text{ (n = 216)}$$

mostra um coeficiente de determinação (R^2) mais elevado do que para a produção de matéria seca. Além das variáveis já consideradas, o pH dos solos, contribuiu, embora com significância ligeiramente menor, para a absorção de enxofre. A ação da calagem e sua interação com a gessagem e cultivos (veja tabela 4.6. e 4.7.) mostram que em condições mais favoráveis de pH houve maior absorção de enxofre pelo milho, mesmo nos solos arenosos, com baixos teores de carbono orgânico e enxofre total.

4.9.2. RELAÇÕES DAS ANÁLISES DE SOLOS E DE PLANTAS NOS SOLOS COM TEORES DE CARBONO MAIORES DO QUE 1,2% COM A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE ENXOFRE

Para os solos argilosos (com teores de carbono maiores que 1,2%) calculou-se a seguinte equação de regressão linear múltipla para a relação da produção de matéria seca com as análises de solos e de plantas:

$$Y = 5,56 - 29,38 \%S - 1,10 N/S - 2,97 Ca + 10,14 Mg + \\ 5,41 (H+A1) - 30,71 C + 10,18 pH$$

$$R^2 = 0,5303*** \quad (n = 216)$$

Nessa equação nota-se que o coeficiente de regressão de menor significância estatística é o enxofre total nas plantas, se comparado com os outros coeficientes: razão N/S, pH, cálcio, magnésio, hidrogênio mais alumínio e carbono. A contribuição da reação do solo (pH, hidrogênio mais alumínio, cálcio e magnésio) se deve à fertilidade natural, muito baixa, onde o cálcio e o magnésio (via forma de carbonatos), funcionam além de neutralizantes da acidez, como nutrientes das plantas. Essa dupla função do calcário é de capital importância em solos de cerrado, como o de Catalão e de Rio Paranaíba, onde os teores de cálcio e magnésio dos solos não conseguem suprir as necessidades das plantas. As interações de calagem, gessagem e cultivos (tabelas 4.6 e 4.7.) dão suporte adicional à alta significância dos coeficientes de regressão múltipla, referentes ao pH, hidrogênio mais alumínio e cálcio e magnésio. É interessante citar o caso do latossolo roxo de Botucatu, que embora tendo um teor relativamente elevado de cálcio no solo (4,22 meq/100 g de solo), e relativamente baixo de magnésio (0,94 meq/100 g), respondeu significativamente à calagem, como pode ser verificado pelas equações de regressão constantes na tabela 4.8. e 4.9.).

A equação de regressão múltipla referente à absorção de enxofre nos solos argilosos:

$$Y = 145,10 - 3,12 \text{ N/S} + 8,19 \text{ P/S} + 3,01 \text{ SO}_4^- - 15,94 \text{ pH} - 4,78 (\text{H+Al}) + 54,11 \text{ C}$$

$$R^2 = 0,7185^{***} \text{ (n = 216)}$$

mostra que o enxofre total nas plantas não consta entre os coeficientes. As equações de regressão da percentagem de S total nas plantas versus absorção de enxofre nos solos argilosos (veja figura 4.5.), mostram coeficientes de determinação extremamente baixos, o que pode ser atribuído às diferentes capacidades de suprimento de enxofre do grupo de solos com teores de carbono superiores a 1,2%. A significância dos coeficientes das razões N/S e P/S devem-se às abundantes adubações nitrogenada e fosfatada, como mostram as equações de regressão da absorção de enxofre. Considerando a razão P/S individualmente, a absorção de enxofre foi influenciada significativamente a partir do segundo cultivo, o que confere a ela significância também na análise conjunta dos dois cultivos. A razão N/S, como em todas as outras situações estudadas, contribuiu de forma altamente significativa na equação de regressão que prediz a absorção de enxofre.

O S-SO₄⁻, extraível por Ca(H₂PO₄)₂ . H₂O - 500 ppm P em ácido acético 2,0N, igualmente contribuiu sig

nificativamente na absorção de enxofre, ao contrário do que se verificou com a produção de matéria seca. Entretanto, essa estimativa estatística deve ser analisada com cuidado, pois a não inclusão do $S-SO_4^-$ disponível nos solos na equação de regressão referente aos solos argilosos pode ser debitada ao crescimento "forçado" do milho em ambiente de umidade e temperatura elevadas e adubações nitrogenada e fosfata em abundância. Entretanto, as plantas de milho já a partir do primeiro cultivo mostraram deficiência severa de enxofre, na dose zero de gesso, como se constata na tabela 4.10.

O cálcio e o magnésio foram excluídas da equação de regressão múltipla, o que é consistente com as curvas de resposta (absorção de enxofre) referente aos solos com teores de carbono superiores a 1,2% da tabela 4.9. Verifica-se que a absorção máxima estimada de enxofre ($Y_{\text{máx.}}$) não apresenta diferenças significativas, comparando-se o valor obtido na ausência (112,4 mg/vaso) como na presença de calagem (121,5 mg/vaso) no primeiro cultivo. Na produção de matéria seca a inclusão do cálcio e do magnésio na equação é debitável a seu papel nutricional nas plantas. Lê-se em MENGEL & KIRKBY (1982), citando diversos autores, que o cálcio é envolvido na elongação e divisão celular e na permeabilidade e integridade da membrana celular. O magnésio é componente da clorofila e participa de reações fotossintéticas. A deficiência de magnésio, por outro lado, aumenta a proporção do nitrogênio não protéico. SUMNER (1981)

na diagnose foliar (DRIS) das necessidades de enxofre para o milho e o trigo usa as razões Ca/S e Mg/S. Existe uma alta probabilidade de que, caso os teores foliares de cálcio e magnésio tivessem sido incluídos no modelo, se obteriam estimativas mais corretas das equações de regressão múltipla referentes ao crescimento e à absorção de enxofre pelo milho. Nesse experimento não se determinaram os teores de cálcio e magnésio na parte aérea do milho.

Os coeficientes de regressão do pH e do $H+Al$ dos solos mostraram-se altamente significativos, como é o esperado, devido à acidez dos solos, que se mostrou adversa à mineralização do enxofre no solo e sua absorção pelas plantas.

A inclusão do carbono em ambas as equações do grupo de solos argilosos se justifica pela estreita correlação obtida com a absorção de enxofre, como mostra a figura 4.8. Todavia, é preciso ressaltar que altos teores de carbono (matéria orgânica) não se traduzem necessariamente em altos potenciais de fornecimento de enxofre às plantas. Em solos ácidos, por exemplo, não existem condições ótimas de mineralização, como demonstram os potenciais de mineralização obtidos, via incubação aberta, listados na tabela 4.5. A correção da acidez aumentou os potenciais de mineralização de enxofre de forma mais intensa nos solos mais argilosos (com maiores teores de carbono), como é o caso dos solos de Catalão, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba, se comparados com os solos arenosos de São Pedro e de

Assis.

Existem poucos trabalhos que relacionam simultaneamente a produção ou a absorção de um nutriente com análises de solos e de plantas. HOEFT et alii (1973) determinaram uma superfície de resposta mostrando o efeito do pH e do $S-SO_4^-$ extraível no aumento da produção de alfafa. Esse trabalho mostra claramente que com o aumento do pH, há diminuição dos teores $S-SO_4^-$ nos solos. Constatação similar foi feita por VITTI (1979), que obteve correlação inversa entre o pH do solo e o $S-SO_4^-$ extraível por acetato de amônio 1N pH 7,0, porém a absorção de enxofre pelo sorgo aumentou significativamente com o pH. Os dados de HOEFT et alii (1973) e de VITTI (1979) são complementados pelos experimentos de MARTINI & MUTTERS (1984), em que se evidenciou a migração do $S-SO_4^-$ do horizonte A para o B por efeito da calagem. Tal fato torna imprescindível em experimentos de campo, o estudo do $S-SO_4^-$ disponível em horizontes superficiais. Nessa linha de raciocínio se enquadra o trabalho de PROBERT & JONES (1977), que estudando os teores de $S-SO_4^-$ nas diversas camadas de solos da Austrália, estabeleceram através da análise canônica variada, a importância relativa do $S-SO_4^-$ extraível em cada camada com o uso dos vetores das respectivas variáveis. Com esta técnica estatística os autores conseguiram discriminar locais não responsivos dos locais responsivos à aplicação de enxofre em pastagens de leguminosas da Austrália tropical.

Nas condições desse experimento a não dimi

nuição dos teores de $S-SO_4^-$ disponível nas amostras de terra por efeito da calagem (veja figura 4.1.1. a 4.1.3.) não conflita com os dados de campo encontrado por autores acima citados, porque em ambiente de vasos não ocorre a lixiviação de ânions e cátions.

4.10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento de casa-de-vegetação foi conduzido em condições de temperatura e umidade elevadas e suprimento abundante de nutrientes, com exceção do enxofre e remoção de todas as raízes para se proceder ao segundo cultivo. Nessas condições, o esgotamento do enxofre nativo e adicionado aos solos foi forçado. Na prática de campo, as situações de deficiências, provocadas no experimento de estufa, provavelmente vão ocorrer após diversos cultivos dos solos, com adubação isenta de enxofre e remoção ou queima de restos culturais(p.ex. cana e algodoeiro). Há que se considerar ainda o potencial de suprimento de enxofre dos horizontes sub-superficiais, como foi demonstrado, em condições de campo, por BLAKEMORE et alii(1969), PROBERT & JONES(1977) e MARTINI & MUTTERS(1984).

A metodologia de incubação aberta dos solos e lixiviação periódica de $S-SO_4^-$ (STANFORD & SMITH, 1972) oferece razoáveis possibilidades de sucesso na discriminação dos solos responsivos e não-responsivos à adubação sul-

fatada, isto é, com baixos e altos potenciais de mineralização de enxofre nativo. Da figura 4.9. pode-se facilmente deduzir que correlações mais estreitas entre absorção de enxofre e potenciais de mineralização serão obtidas com um universo maior de solos, com faixa mais ampla de carbono e enxofre total nos solos.

O estudo do $S-SO_4^{=}$ disponível via extratores químicos, merece atenção em pesquisas futuras nos seguintes aspectos:

- . estudo de diversas relações solo = solução;
- . extração de $S-SO_4^{=}$ via resinas, por causa de sua adsorção em diversos laboratórios de análises de solos brasileiros;
- . aprimoramento da técnica de determinação turbidimétrica de $S-SO_4^{=}$.

Embora a técnica original de determinação turbidimétrica de BARDSEY & LANCASTER (1965) tenha proporcionado boas curvas de calibração do espectrofotômetro para os quatro extratores testados (veja tabela 4.3.), a sua sensibilidade é pequena em baixas concentrações nos extratos de $S-SO_4^{=}$ dos solos.

Pelas equações de regressão múltipla da tabela 4.14. e de regressão simples relativas à nutrição de enxofre, nitrogênio e fósforo das figuras 4.4. a 4.7. constata-se que a razão N/S oferece nas condições desse experi

mento, as melhores correlações com a produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho, seguida da razão P/S. Com base nos resultados obtidos por McCLUNG & QUINN (1959), WANG et alii (1976a,b), FREITAS & JORGE (1959) e PEDRO SO et alii (1986) e nesse trabalho, os clássicos experimentos NPK deverão ser acrescidos de S ou até substituídos por NPS, estudando-se adicionalmente o efeito da calagem na disponibilidade de enxofre nos solos e o potencial de fornecimento de $S-SO_4^{=}$ pelos horizontes sub-superficiais.

5. CONCLUSÕES

Os solos arenosos e de baixos teores de carbono possuem pequenos potenciais de mineralização de nitrogênio e enxofre nativos, sendo afetados de forma não significativa pela calagem. Os solos argilosos e com mais altos teores de carbono tem potenciais de mineralização de nitrogênio e enxofre mais elevados, com efeitos significativos da calagem.

A meia-vida (tempo necessário para mineralizar a metade do nitrogênio e do enxofre potencialmente mineralizáveis), foi modificada pela calagem, não se verificando proporcionalidade na mineralização do nitrogênio e do enxofre.

A mineralização do nitrogênio e do enxofre e o decaimento da atividade específica de ^{35}S estabilizaram-se por volta da oitava semana de incubação aberta, tanto na ausência quanto na presença de calagem.

Os teores de carbono e os potenciais de mineralização do enxofre dos solos são estreitamente correlacionados com a absorção de enxofre pelo milho, na presença de calagem. Não houve correlação significativa entre os potenciais de mineralização de enxofre no primeiro cultivo e os teores de carbono nos solos no segundo cultivo ver-

sus absorção de enxofre na ausência de calagem, mostrando que a acidez reduz a mineralização e a dessorção do enxofre nativo dos solos. O enxofre total dos solos em nenhum caso apresentou correlação com a absorção de enxofre dos solos.

Dentre os extratores estudados, o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N demonstrou o melhor desempenho tanto em termos operacionais de laboratório, quando na correlação com a produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho. O extrator HCl 0,05 M revelou-se totalmente inadequado por não se terem obtido extratos límpidos para a determinação turbidimétrica do S-SO_4^- .

Os extratores NH_4OAc 0,5N em ácido acético 0,25N e o CaCl_2 0,15% correlacionaram-se significativamente com a absorção de enxofre, mas apresentam o inconveniente da necessidade de determinação imediata do S-SO_4^- dos extratos ou de seu armazenamento em refrigerador para evitar desenvolvimento de fungos.

Os níveis críticos de S-SO_4^- nos solos para a obtenção de 90% da produção máxima relativa de matéria seca

a) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - 500 ppm P em ácido acético 2,0N: 11 ppm; N: NH_4OAc 0,5N em ácido acético 0,25N: 17 ppm; c) CaCl_2 0,15%: 19 ppm.

Os níveis críticos de enxofre total na parte aérea do milho versus produção de matéria seca e absorção de enxofre foram de 0,14% e 0,20%, respectivamente, no primeiro cultivo dos solos arenosos; no segundo cultivo determinou-se o nível crítico de 0,14% para ambos os casos.

No primeiro cultivo dos solos argilosos (com teores de carbono superiores a 1,2%), os coeficientes de regressão não significativos, não se podendo, assim, estabelecer os níveis críticos; no segundo cultivo, os níveis de enxofre total nas plantas foram de 0,20% para a produção de matéria e de 0,30% para a absorção de enxofre.

A razão N/S da parte aérea do milho que caracteriza a deficiência de enxofre está por volta de 10 a 12/1, relacionada com a absorção de enxofre. A correlação foi altamente significativa no primeiro e no segundo cultivos.

A razão P/S na parte aérea do milho não apresentou correlação significativa com a absorção de enxofre no primeiro cultivo. Na análise conjunta dos dois cultivos e no segundo isoladamente as correlações com a absorção de enxofre foram significativas. Por causa da maior dispersão dos pontos não se pode estabelecer precisamente a razão P/S que caracteriza a deficiência de enxofre nas plantas. Tentativamente, propõe-se a razão P/S 1/1 como valor crítico.

Na avaliação conjunta de análises de solos e de plantas versus produção de matéria seca por regressão linear múltipla, contribuíram, significativamente os seguintes parâmetros:

- a) solos arenosos (teores de carbono menores que 1,2%) - enxofre total e razão N/S das plantas e $S-SO_4$ extraível dos

solos;

- b) solos argilosos (teores de carbono maiores que 1,2%) - enxofre total e razão N/S das plantas, pH, Ca, Mg, H+Al e carbono dos solos;

e versus absorção de enxofre:

- a) solos arenosos - enxofre total e razão N/S das plantas, $S-SO_4^{=}$ extraível e pH dos solos;
- b) solos argilosos - enxofre total e razões N/S e P/S das plantas, $S-SO_4^{=}$ extraível, pH, H+Al e carbono dos solos.

Dentre os parâmetros estudados, a razão N/S revelou-se como o mais preciso para diagnosticar a deficiência nutricional de enxofre para as plantas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRUÑA, F.; VICENTE-CHANDLER, J; PEARSON, R.W. Effects of liming on yields and composition of heavily fertilized grasses and on soil properties under humid tropical conditions. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 28(5): 657-61, set./out. . 1964.
- ADAMS, F. & RAWIJFIH, Z. Basaluminite and alunite: a possible cause for sulphate retention by acid soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, 41(4): 686-92, july/aug. 1977.
- ALLISON, L.E. Organic carbon. In: BLACK, C.A. ed. Methods of soils analysis; chemical and microbiological properties. Madison, ASA, 1965. cap. 90, p. 1367-78 (Agronomy, 9).
- ALMEIDA NETO, J.X. de & BRASIL SOBRINHO, M.O.C. do. Fixação de fósforo em três solos sob cerrado em Goiás. Revista brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1(1): 12-5, jan./fev./mar. 1977.

ALVAREZ V., V.H.; BRAGA, J.M.; ESTEVÃO, M.M.; PINTO, O.C.B.

Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais. Experientiae, Viçosa, 22(1): 1-29, jan. 1976.

ANDERSON, G.D. Potassium responses of various crops in East Africa. In: COLLOQUIUM OF INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 10 Abidjan, 1973. Proceedings... Bern, International Potash Institute, 1973 p. 413-37.

ANDERSON, A.J. & SPENCER, K.D. Molybdenm and nitrogen metabolism on legumes and nonlegumes. Australian of Journal of Agricultural Research, Melbourne, 38(2): 414-30, febr. 1950.

ANDREW C.S. Evaluation of plant and soil sulphur tests in Australia. In: MC LACHLAN, K.D., ed. Sulphur in Australian Agriculture, Sidney, Sidney University Press, 1982, p. 93-127.

ARENS, K. O cerrado como vegetação oligotrôfica. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, São Paulo, 224 Bot. (15): 59-77, 1958.

AYLMORE, L.A.G. & KARIM, M. Leaching of fertilizers ions in soil columns. In: INTERNATIONAL CONGRESS IN SOIL SCIENCE, 9, Adelaide, 1968. Transactions... Amsterdam, Elsevier, 1969. v.1. p.143-53.

BARDSLEY, C.E. & LANCASTER, J.D. Sulfur. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Madison, ASA, 1965. cap. 79. p.1103-16. [Agronomy, 9].

BARDSLEY, C.E. & KILMER, V.J. Sulphur supply of soils and crop yields in the Southeastern United States. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 27(2): 197-9, mar/apr. 1963.

BARROW, N.J. Studies on extraction and availability to plants of adsorbed plus soluble sulphate. Soil Science, Baltimore, 104(4): 242-9, apr. 1967.

BARROW, N.J. Determination of elemental sulfur in soils. Journal of Science of Food and Agriculture, London, 19(7): 454-6, aug. 1968.

BARROW, N.J. Effects of adsorption of sulphate by soils on the amount of sulphate and its availability to plants. Soil Science, Baltimore, 108(3): 193-201, sept. 1969.

- BARROW, N.J. Comparison of the adsorption of molybdate, sulphate and phosphate by soils. Soil Science, Baltimore, 109(5): 282-8, may, 1970.
- BEATON, J.D.; BIXBY, D.W.; TISDALE, S.L.; PLATOU, J.S. Fertilizer Sulfur; status and potential in the U.S. Muscle Shoals, Alabama, The Sulfur Institute, 1974. [Boletim técnico, 9].
- BEATON, J.D.; BURNS, G.R.; PLATOU, J. Determination of sulphur in soils and plant material. Washington, Sulphur Institute. 1968. 56p. [Boletim técnico, 14].
- BEATON, J.D. & FOX, R.L. Production, marketing and use of sulphur products. In: OLSON, R.A. et alii, eds. Fertilizer Technology and Use. 2ed. Madison, Soil Science Society of America. 1971. p.335-79.
- BEATON, J.D.; HUBBARD, W.A.; SPEER, R.C.; GARDNER, R.T. Ammonium phosphate-sulphur and sulphur-gypsum: new granular sulphur-sources for alfalfa. The Sulphur Institute Journal, Washington, 4(1): 4-8, jan. 1968-69.

BETTANY, J.R.; STEWART, J.B.W.; HALSTEAD, E.H. Sulfur fractions and carbon, nitrogen and sulfur relationships in grassland, forest and associated transitional soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 37(6): 915-8, nov./dec. 1973.

BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B.; HALSTEAD, E.H. Assessment of available soil sulphur in an ^{35}S growth chamber experiment. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 54(3): 309-15, aug. 1974.

BETTANY, J.R. & STEWART, J.W.B. Sulphur cycling in soils. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE TÉCNICAS NUCLEARES EM ESTUDOS DE FERTILIDADE DO SOLO E FERTILIZANTES, Piracicaba, 1983. Anais... Piracicaba, CENA/USP, 1983.

BIEDERBECK, V.O. Soil organic sulfur and fertility. In: SCHNITZER, M. & KHAN, S.V., ed. Soil organic matter. Amsterdam, Elsevier, 1978. cap. 6. p.273-310.

BLAIR, G. Sulfur in the tropics. Muscle Shoals, Alabama, IFDC, 1979. 69p. [Boletim técnico, T-12].

BLAKEMORE, L.C.; LUDECKE, T.E.; LEAMY, M.L.; METSON, A.J.

A study of the pattern of sulphur responses shown by dryland lucerne on some brown-gray earths. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 12(2): 333-51, 1969.

BLOOMFIELD, C. Sulphate reduction in waterlogged soils.

Journal of Soil Science, Oxford, 20(1): 207-21, 1969.

BOHNEN, H. Formas de nitrogênio e avaliação de métodos para a determinação de sua disponibilidade em 21 solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1970. [Mestrado Solos - Fac. Agronomia/UFRGS].

BORATTO, F. Basic para engenheiros e cientistas. Rio de Janeiro, LTC, 1984. 120p.

BORNEMIZSA, E. & LLANOS, R. Sulphate movement, adsorption and desorption in three Costa Rica soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 31(3): 356-60, may/june, 1967.

BRAR, S.S. & GIDDENS, J. Inhibition of nitrification in Bladen grassland soil. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 32(6): 821-3, nov./dec., 1968.

BRAY, R.H. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirements. In: KITCHEN, H.B., ed., Diagnostic techniques for soils and crops. Washington American Potash Institute, 1948. p.53-86.

BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Madison, ASA, 1965. cap. 83, p.1149-78. [Agronomy, 9].

BROMFIELD, A.R. Sulphur in northern Nigerian soils. 1. The effects of cultivation and fertilizers on total S and sulphate patterns in soil profiles. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 78(3): 465-70, june. 1972.

BUTTERS, B. e CHENERY, E.M. A rapid method for the determination of total sulphur in soils and plants. Analyst, London, 84: 239-45, 1959.

CALVET, J.L.R. Estudo do enxofre em diversos solos da região de Piracicaba-SP e avaliação de métodos de extração do enxofre disponível usando ^{35}S . Piracicaba, 1986. 102p. [Mestrado-ESALQ/USP].

- CAMPBELL, C.A.; MYERS, R.J.K.; WEIER, K.L. Nitrogen mineralization potentials, decomposition rates and their relationships to temperature for five Queensland soils. Australian Journal Soil Research, Melbourne, 19(2): 323-32. apr./june. 1981.
- CHAO, T.T.; HARWARD, M.E.; FANG, S.C. Adsorption and desorption phenomena of sulphate in soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 26(3): 234-7. may/june. 1962.
- CASAGRANDE, J.C. & SOUZA, O.C. Efeitos de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas tropicais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(1): 21-5, jan. 1982.
- CASAGRANDE, J.C.; SOUZA, O.C.; SCHUNKE, R.M. Avaliação da fertilidade de quatro solos do Mato Grosso do Sul: enxofre e micronutrientes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(3): 381-4, maio. 1982.
- CATANI, R.A. & JACINTHO, O. Avaliação da fertilidade do solo; métodos de análise. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1974. 57p. [mimeografado].

- CATANI, R.A.; GLÓRIA, N.A. da; VITTI, G.C. Adsorção de sulfato pelo solo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 28: 235-45, 1971.
- CHAPMAN, H. & PRATT, F.P. Methods of analysis for soils plants and waters. Davis, Univers. California, 1961. 309p.
- CLARK, A.J. & LEWIS, D.C. Handbook on sulphur in Australian agriculture; South Australia. In: _____; McLACHLAN, K.D., ed. 1974. CSIRO, Melbourne, p.42-9.
- COCHRAN, W.G. The combination of estimates from different experiments. Biometrics, Fort Collins, 10(1): 101-29, jan./may, 1954.
- COLEMAN, R. The importance of sulfur as a plant nutrient in world crop production. Soil Science, Baltimore, 101(4): 230-9, apr. 1966.
- COLOZZA, M.T.; SAVASTANO, S.A.L. de; WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A. Efeitos da aplicação de gesso e calcário dolomítico em dois solos ácidos cultivados com soja perene. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, 40(1): 75-96, jan./fev. 1983.

COOPER, M. A comparison of five methods for determining the sulphur status of New Zealand soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 9., Adelaide, 1968. Transactions... Amsterdam, Elsevier, 1969. v.2. p.263-71.

COUTO, W.; LATHWELL, D.J.; BOULDIN, D.R. Sulfate sorption by two oxisols and alfisols of the tropics. Soil Science, Baltimore, 127(1): 108-6, jan. 1979.

DAIGGER, L.A. & FOX, R.L. Nitrogen and sulphur nutrition of sweet corn in relation to fertilization and water composition. Agronomy Journal, Madison, 63(5): 729-30, sept./oct. 1971.

DE LONG, W.A. & LOWE, L.E. Carbon-14 bonded sulfur in soils. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 42(2): 223-30, may, 1962.

DIJKSHOORN, W. & VIJK, A.L. van. The sulphur requirements of plants as evidenced by sulphur-nitrogen ratio in the organic matter: a review of published data. Plant and Soil, The Hague, 26(1): 129-57, jan. 1967.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado. Relatório técnico anual, 1979/80. Brasília, EMBRAPA, 1981. 190p.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado. Relatório técnico anual, 1980/1981. Brasília, EMBRAPA, 1982. 163p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS, 1979. [mimeografado].

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª Aprox. Rio de Janeiro, 1981. 100p.

ENWEZOR, W.O. Sulphur deficiency in soils of Southeastern Nigeria. Geoderma, Amsterdam, 15(2): 401-11, feb. 1976.

ESMINGER, L.E. & FRENEY, J.R. Diagnostic techniques for determining sulfur deficiencies in crops and soils. Soil Science, Baltimore, 102(2): 283-90, feb. 1966.

ESMINGER, L.E. Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 18(2): 259-64, 1954.

FIELDES, M. & SCHOFIELD, K.K. Mechanisms of ion adsorption by inorganic soil colloid. New Zealand Journal Soil Science, Wellington, 3(5): 563-79, may, 1960.

FONTES, M.P.F. Disponibilidade de enxofre em diferentes extratores químicos em alguns latossolos do Estado de Minas Gerais. Viçosa, 1979. 63p. [M.Sc. - Universidade Federal de Viçosa].

FREIRE, J.C.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. de; CARVALHO, J.G. de. Influência do enxofre na produção de matéria seca do milho. Agros, Lavras, 2(1): 35-46. 1972.

FREIRE, J.C.; MATTOS, R.; SOUZA, J.J. de; BAHIA, F.G.F.F.C. Resposta a níveis de enxofre em solos de baixada, Vale do Sapucaí, Minas Gerais. Agros, Lavras, 4(1): 30-44. 1974.

FREITAS, L.M.M. de; McCLUNG, A.C.; LOTT, W.L. Field studies on fertility problems of the brazilian campos cerrados. New York, IRI, 1960, 28p. [Boletim, 21].

- FREITAS, L.M.M. de; GOMES, F.P.; LOTT, W.L. Effects of fertilizer sulphur on coffee. The Sulphur Institute Journal, Washington, 8(1): 9-12, jan., 1972.
- FREITAS, L.M.M. de & JORGE, P.N. Resposta de capim swanee-bermuda à aplicação de nitrogênio, fósforo e enxofre em região de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6(3): 195-202, sept./dec. 1982.
- FRENEY, J.R.; BARROW, N.J.; SPENCER, K. A review of certain aspects of sulphur as a soil constituent and a plant nutrient. Plant and Soil, The Hague, 17(2): 295-308, feb. 1962.
- FRENEY, J.R.; MELVILLE, G.E.; WILLIAMS, C.H. Organic sulphur fractions labelled by addition of ^{35}S -sulphate to soil. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, 3(2): 133-41, mar./apr. 1971.
- FRENEY, J.R.; SPENCER, K.; JONES, M.B. The diagnosis of sulfur deficiency in wheat. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, 29(4): 729-38. jul. 1978.

- GASSER, J.R.K. Soil nitrogen. VI: Correlation between laboratory measurements of soil mineral N and crop yields and responses in pot and fields experiments. Journal of Science of Food and Agriculture, London, 12(2): 562-73, aug. 1963.
- GOH, K.M. & KEE, K.K. Effects of nitrogen and sulfur fertilization on the digestibility and chemical composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Plant and Soil, The Hague, 50(1): 161-7, aug. 1978.
- GOODLAND, R. & FERRI, M.G. Ecologia do cerrado. São Paulo, EDUSP, 1979. 193p.
- GREGG, P.E.H. & GOH, K.M. Field studies with radioactive sulphur labelled gypsum fertilizer. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 21(4): 593-601, nov. 1978.
- GRIFFIN, G.F. & LAINE, A.F. Nitrogen mineralization in soils previously amended with organic wastes. Agronomy Journal, Madison, 75(1): 124-9, jan. 1983.

GUIMARÃES, P.T.G.; MELLES, C.C.A.; FREIRE, F.M. Influência do gesso e calcário como corretivos e fornecedores de cálcio e enxofre para o cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10, Poços de Caldas, 1983. Anais... Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1983. p.164-5.

HARWARD, M.E. & REISENAUER, H.M. Reactions and movement of inorganic soil sulphur. Soil Science, Baltimore, 101(4): 326-35, apr. 1966.

HARWARD, M.E.; CHAO, T.T.; FANG, S.C. The sulphur status and sulphur supplying power of Oregon soils. Agronomy Journal, Madison, 54(1): 101-6, jan. 1962.

HAGUE, I. & WALMSLEY, D. Adsorption and desorption of sulphate in soils of West Indies. Geoderma, Amsterdam, 9(2): 269-78, febr. 1973.

HESSE, P.R. Sulphur. In: _____. A textbook of soil chemical analysis. London, John Murray. 1972 cap. 13. p. 301-31.

HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. Journal of Soil Science, Oxford, 23(1): 1977-92, 1972.

- HOEFT, R.G.; WALSH, L.M.; KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 37(2): 401-4, mar./apr. 1973.
- HOMES, M.V. A new approach to the plant nutrition and fertilizer requirement. Soils and Fertilizers, Washington, 18(1): 101-3, jan. 1955.
- HOMES, M.V. The method of systematic variations. Soil Science, Baltimore, 96(6): 380-6, dec. 1963.
- HOMES, M.V. Sulfur requirement in fertilizers as determined by the method of systematic variations. Soil Science, Baltimore, 101(4): 291-6, apr. 1966.
- ISLAM, M.M. & PONNAPERUMA, F.N. Soil and plant tests for available sulfur in wetland rice soils. Plant and Soil, The Hague, 68(1): 97-113, jan. 1982.
- JANZEN, H.H.; BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B. Sulfur oxidation and fertilizer sources. Saskatchewan Institute of Pedology, Saskatchewan, 1982. 12p. [mimeografado].

- JANZEN, H.H. & BETTANY, J.R. Sulfur nutrition of rapeseed. I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. Soil Science Society of America Journal, Madison, 48(1): 100-7, jan./feb. 1984.
- JENSEN, J. Some investigations on plant uptake of sulphur. Soil Science, Baltimore, 95(1): 63-7, jan. 1963.
- JOHNSON, C.M. & NISHITA, H. Microestimation of sulphur in plant materials, soils and irrigation waters. Analytical Chemistry, Washington, 24(4): 736-42, apr. 1952.
- JUMA, N.G.; PAUL, E.A.; MARY, B. Kynetic analysis of net nitrogen mineralization. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 48(4): 753-7, jul./aug. 1984.
- JONES, M.B. & QUAGLIATO, J.L. Respostas de quatro leguminosas tropicais e da alfafa a vários níveis de enxofre. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, 5: 359-63, 1970.
- KAMPRATH, E.J.; NELSON, W.L.; FITTS, F.W. The effect of pH, sulphate and phosphate concentrations on the adsorption of sulphate by soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 20(2): 463-6, mar./apr. 1956.

- KANG, B.T. & OSINAME, O.A. Sulfur response of maize in Western Nigeria. Agronomy Journal, Madison, 68(2): mar./apr. 1976.
- KANG, B.T.; OKORO, E.; AQUAVE, D.; OSINAME, O.A. Sulfur status of some Nigerian soils from the savanna and forest zones. Soil Science, Baltimore, 132(3): 220-7, sept. 1981.
- KINJO, T. & PRATT, F.P. Nitrate adsorption. II. Ion competition with chloride, sulphate and phosphate. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 35(5): 725-8, sept./oct. 1971.
- KLIEMANN, H.J. Componentes nitrogenados de alguns solos do Rio Grande do Sul e sua relação com a disponibilidade de nitrogênio para as plantas. Porto Alegre, 1973. 76p. [Mestrado - Solos - Fac. Agronomia/UFRGS].
- KOWALENKO, C.G. & LOWE, L.E. Evaluation of several extraction methods and of a closed incubation for soil sulfur mineralization. Canadian Journal of Soil Science Ottawa, 55(1): 1-8, febr. 1975.

KORENTAJER, K.; BYRNES, B.H.; HELLUMS, D.T. The effect of liming and leaching on the sulfur supplying capacity of soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, 47(3): 525-30, may/june, 1983.

LINDEMANN, W. & CARDENAS, M. Nitrogen mineralization potential and nitrogen transformations of sludge-amended soil. Soil Science Society of America Journal, Madison, 48(5): 1072-77, sept./oct. 1984.

LOWE, L.E. Distribution and properties of organic fraction in selected Alberta soils. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 49(1): 129-41, febr. 1969.

LOWE, L.E. Sulfur fractions of selected Alberta soil profiles of the chernozemic and podzolic orders. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 45(2): 297-303, febr. 1965.

LOTT, W.L.; McCLUNG, A.C.; MEDCALF, J.C. Sulphur deficiency in coffee. São Paulo, Inst. Pesq. IRI, 1960. [Boletim, 2]. 31p.

MALAVOLTA, E. Estudos sobre o enxofre. Piracicaba, 1950. 93p. [Livre-Docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP].

MALAVOLTA, E. Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras. Piracicaba, POTAFOS, 1980. 43p. [Boletim, 4].

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; adubos e adubação. São Paulo, Ceres, 1981. cap. 6. p.276-82.

MALAVOLTA, E. Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras. São Paulo, SN Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1982. 59p. [Boletim técnico, 1].

MALAVOLTA, E. A prática da calagem. 4ed. Sorocaba, Mineradora Pagliato, 1984. 43p. [Boletim técnico, 2].

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; FORNASIER Fº, D.; GUIMARÃES, P.T.G.; GUILHERME, M.R.; E MORI, I.; VASCONCELLOS, L.A. B.C.; MORAES, C.L.; KAMINSKI, J.; MUTTON, M.A.; CARVALHO, J.G.; RUY, V.M. Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico: I. Capim colonião (*Panicum maximum* Jacq.). São Paulo, SN Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1984. p. 9-22. [Boletim técnico, 3].

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; FORNASIERI Fº, D.; CARVALHO, J.G.; MALAVOLTA, M.L.; ZAMBELLO, F.C. Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico; II. Colza (*Brassica napus* L. var. oleifera). São Paulo, SN Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1984. p.26-42. [Boletim técnico, 3].
- MARTINI, J.A. & MUTTERS, R.G. Effect of liming and fertilization on sulfur availability, mobility and uptake in cultivated soils of South Carolina. Soil Science, Baltimore, 138(6): 403-10, dec. 1984.
- MARY, B. e REMY, J.C. Essai d'appréciation de la capacité de minéralization de l'azote des sols de grande culture. I. Signification des cinétiques de minéralization de la matière organique humifiée. Annales Agronomiques, Paris, 30: 513-27, 1979.
- MAYNARD, D.G.; STEWART, J.W.B.; BETTANY, J.R. Use of plant analysis to predict deficiencies in rapeseed (*Brassica napus* and *B. campestris*). Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 63(2): 387-96, febr. 1983a.
- MAYNARD, D.G.; STEWART, J.W.B.; BETTANY, J.R. Sulphur and nitrogen mineralization in soils compared using two incubation techniques. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, 15(3): 251-6, may. 1983b.

McCLUNG, A.C. & FREITAS, L.M.M. de. Sulfur deficiency in soil from brazilian campos. Ecology, Durham, 40(2): 315-7, apr. 1959.

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. de; LOTT, W.L. Analysis of several brazilian soils in relation to plant responses to sulfur. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 23(2): 221-4, mar:/apr. 1959.

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. de; MIKKELSEN, D.S.; LOTT, W.L. Adubação do algodoeiro em solos de campo cerrado no Estado de São Paulo. São Paulo, Inst. Pesq. IRI, 1961. 34p. [Boletim técnico, 27].

McCLUNG, C.A. & QUINN, L.R. Resposta da grama batatais (*Paspalum notatum* L.) às aplicações de enxofre e fósforo. São Paulo, Inst. Pesq. IRI, 1959. [Boletim, 29].

McGILL, W.B. & COLE, C.V. Comparative aspects of cycling organic C, N, S and P through soil organic matter. Geoderma, Amsterdam, 26(4): 267-86, nov. 1981.

McLAREN, A.; KEER, J.I.; SWIFT, R.S. Sulphur transformations in soils using sulphur 35 labelling. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, 17(1): 73-9, jan. 1985.

- McNAUGHT, K.N. & CHRISTOFFELS, P.J.E. Effect of sulphur deficiency on sulphur and nitrogen levels in pastures and lucerne. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 4(2): 177-85, mar./apr. 1961.
- MERARU, T. & UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 36(2): 296-300, mar./apr. 1972.
- METSON, A.J. e L.C. BLAKEMORE. Sulphate retention of New Zealand soils in relation to the competitive effect of phosphate. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 2(2): 243-33, may, 1978.
- METSON, A.J. Sulphur in New Zealand soils. I. A review of sulphur in soils with particular reference to adsorbed sulphate-sulphur. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 22(1): 95-114, febr. 1979.
- MIKKELSEN, D.S.; FREITAS, L.M.M. de; McCLUNG, A.C. Efeitos da calagem e adubação na produção de algodão, milho e soja em três solos de campo cerrado. São Paulo, Inst. Pesq. IRI, 1963. [Boletim, 29].

- MIYASAKA, E.; FREIRE, E.; MASCARENHAS, A. Adubação mineral do feijoeiro. VIII. Efeitos de N, P, K, S e uma mistura de micronutrientes em Tatuí e Tietê. Bragantia, Campinas, 25(26): 393-405, out. 1966.
- MOLINA, J.A.E.; CLAPP, C.E.; LARSON, W.E. Potentially mineralizable nitrogen in soil: the simple exponential model does not apply for the first 12 weeks of incubation. Soil Science Society of America Journal, Madison, 44(2): mar./apr. 1980.
- MONTEIRO, F.A.; CARRIEL, J.M.; MARTINS, L.; CASTRO, J.V. de; LIEM, T.H. Aplicação dos níveis de enxofre, na forma de gesso, para cultivo de leguminosas forrageiras. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, 40(2): 229-40, 1983.
- MOSER, V.S. & OLSON, R.V. Sulfur oxidation in four soils as influenced by soil moisture tension and sulfur bacteria. Soil Science, Baltimore, 76(3): 251-7, sept. 1953.
- NASCIMENTO Fº, V.F. & LOBÃO, A.O. Deteção de P-32 em amostras de origem animal e vegetal por efeito Cerenkov, cintilação líquida e detector G.M. Piracicaba, CENA-USP, [Boletim científico, BC-48].

NASCIMENTO, J.A.L. do & MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I. Formas no solo. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas, 4(3): 131-5, set./dez. 1980a.

NASCIMENTO, J.A.L. do & MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. II. Disponibilidade. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas, 4(3): 135-8, set./dez. 1980b.

NELSON, L.E. Status and transformation of sulfur in Mississippi soils. Soil Science, Baltimore, 97(5): 300-6, may. 1964.

NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A.; HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus - sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 39(1): 51-5, jan./febr. 1975.

OSINAME, O.A. & KANG, B.T. Response of rice to sulphur application under upland conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 6(6): 585-98, 1975.

- PALASKAR, M.S. & GHOSH, B.A. Evaluation of some soil test methods for available sulphur using cabbage as a test crop. Journal of Nuclear Agriculture and Biology, N. Delhi, 10(1): 88-91, jan. 1981.
- PATTERSON, M.S. & GREEN, R.C. Measurement of low beta-emitters in aqueous solutions by liquid scintillation counting of emulsions. Analytical Chemistry, Washington, 37(7): 854-7, june. 1965.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime and gypsum application on a Brazilian oxisol. Soil Science Society of America Journal, Madison, 48(1): 33-8, jan. 1984.
- PEARSON, R.W.; ABRUNA, F.; VICENTE-CHANDLER, J. Effects of lime and nitrogen applications on the downward movement of Ca and Mg in two humid tropical soils of Puerto Rico. Soil Science, Baltimore, 93(1): 77-82, jan. 1962.
- PEDROSO, P.A.C.; VITTI, G.C.; DE NADAI, O.E.; GUIMARÃES, P.T.G.; MELLES, C.C.A.; MALAVOLTA, M.L.; MALAVOLTA, E. Efeito de fontes e doses de enxofre em culturas de interesse econômico. IV. Café. São Paulo, SN Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1986. 41p. [Boletim técnico, 4].

- PEVERILL, K.I.; BRINER, G.P.; WALBRAN, W.T. Problems associated with soil testing for sulphur. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 10, Moscow, 1974. Transactions... Amsterdam, Elsevier, 1975. v.2. p.174-80.
- PREVOT, P. & OLAGNIER, M. La carence en soufre de l'arachide en Afrique. Agrochimica, Paris, 81(3): 210-21, mar. 1964.
- PROBERT, M.E. Studies of available and isotopically exchangeable sulphur in some North Queensland soils. Plant and Soil, The Hague, 45(2): 461-75, febr. 1976.
- PROBERT, M.E. & JONES, R.K. The use of soil analysis for predicting the response to sulphur of pasture, in the Australian tropics. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, 28(1): 137-46, jan. 1977.
- PUMPHREY, F.V. & MOORE, D.P. Diagnosing sulfur deficiency of alfalfa from plant analysis. Agronomy Journal, Madison, 57(4): 364-6, july/aug. 1965.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6(3), 189-94, set./dez. 1982.

QUAGGIO, J.A. Métodos de laboratório para determinação da necessidade de calagem em solos. In: RAIJ, B. van et alii, coord. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira Ciência do Solo, 1983, p.33-48.

QUINN, L.R.; MOTT, G.O.; BISCHOFF, W.V.A. Fertilização de pastos de capim colômbio e produção de carne com novilhos zebu. São Paulo, Inst. Pesq. IRI, 1961. 30p. [Boletim técnico, 24].

QUINN, B.F. & WOODS, P.H. Rapid manual determination of sulphur and phosphorus in plant material. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 7(4): 415-26, 1976.

RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa (EUA-Suíça), 1981. 142p.

- RAIJ, B. van. Propriedades eletroquímicas de solos. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, Piracicaba, 1986. Anais... Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.9-39.
- RASSMUSSEN, P.E.; RAMIG, R.E.; EKIN, L.G.; ROHDE, C.R. Tissue analysis guidelines for diagnosing sulphur deficiency in white wheat. Plant and Soil, The Hague, 46(1): 153-63, jan. 1977.
- REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Amelioration of sub-soil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. Agrochemophysica, Pretoria, 4: 1-6, 1972.
- REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M.; HOEFT, R.G. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., eds. Soil testing and plant analysis, Madison, ASA, 1973, cap. 12. p.173-99.
- REISENAUER, H.M. Soil assays for recognition of sulphur deficiency. In: McLACHLAN, K.D., ed., Sulphur in Australian Agriculture, Sidney, Sidney University Press, 1975. p.182-7.

RICHARD, L. Adaptação ao meio natural do método das "variantes systematiques" do Prof. HOMES - Fertilité, Paris, 7: 21-31. juin. 1959.

RICKE, W. Contribution to geochemistry of sulphur. Geochimica et Cosmochimica Acta, London, 21(1): 35-80. jan. 1960.

RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBÃO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a brazilian savannah oxisol. Agronomy Journal, Madison, 72(1): 40-4, jan./febr. 1980.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. da; ESPINOZA, W.; LOBATO, E. Downward movement of calcium and the improvement of sub-soil rooting in oxisols in Brazil. In: RUSSEL, R.S. et alii, eds., 1981. The soil root system in relation to Brazilian agriculture. Londrina, IAPAR, 1982. p.137-51.

RUSSEL, E.W. Soil conditions and plant growth. 10ed. Longman, London, 1973. 849p.

- SAGGAR, S.; BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B. Sulfur transformations in relation to carbon and nitrogen in incubated soils. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, 13(2): 499-511, mar./apr. 1981.
- SANSUM, L.L. & ROBINSON, J.W.D. Wet digestion, manual and automated analysis of total sulphur in plant material. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 5(5): 365-83, 1974.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Manual de análise foliar. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 56p. [mimeografado].
- SAS INSTITUTE INC. SAS user's guide; statistics. North Carolina, NC SU, 1982.
- SAUNDERS, W.M.H. & COOPER, D.M. Evaluation of soil and plant analysis to determine sulphur status of New Zealand soils. In: McLACHLAN, K.D., ed., Sulphur in Australasian Agriculture. Sidney University Press, 1975. p.188-95.
- SCHARPENSEEL, H.W. & KRAUSE, R. Radiochromatographic investigations on the cycle of the sulfate and of the S-amino-acids cystine and methionine. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, Leipzig, 101(1): 11-23, 1963.

SEARLE, P.L. Measurement of adsorbed sulphate in soils - effects of varying soil: extractant ratios and methods of measurement. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 22(2): 287-90, may, 1979.

SHEARD, R.W. Initial and residual utilization by alfalfa and bromegrass of sulphur from ^{35}S - labelled gypsum. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 11(6): 605-619, 1980.

SILVA, J.E. da & RITCHEY, K.D. Adubação potássica em solos de cerrado. In: Potássio na Agricultura Brasileira, Londrina, IAPAR, 1982. p.323-38.

SIMON-SYLVESTRE, G. Les composés du soufre du sol et leur révolution - rapports avec la microflore, utilisation par les plantes. Annales Agronomiques, Paris, 3: 311-32, 1960.

SINGH, B.R. Sulfate sorption by acid forest soils:
1. Sulfate adsorption isotherms and comparison of different adsorption equations in describing adsorption. Soil Science, Baltimore, 135(6): 489-97, dec. 1984a.

SINGH, B.R. Sulfate sorption by acid forest soils:

3. Desorption of sulfate from adsorbed surfaces as a function of time, desorbing ion, pH and amount of adsorption. Soil Science, Baltimore, 138(5): 346-53, nov. 1984b.

SMITH, F.W. & DOLBY, G.R. Derivation of diagnostic indices for assessing the sulphur status of *Panicum maximum* var. *trichoglume*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 8(3): 221-40, 1977.

SMITH, J.L.; SCHNABEL, R.R.; McNEAL, B.L.; CAMPBELL, G.S. Potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 44(5): 996-1000, sept./oct. 1980.

SPENCER, K. & FRENEY, J.R. A comparison of several procedures for estimating the sulphur status of soils. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, 11(6): 948-59, nov./dec. 1960.

SPENCER, K. & FRENEY, J.R. Assessing the sulphur status of field-grown wheat by plant analysis. Agronomy Journal, Madison, 72(2): 469-72, mar./apr. 1980.

- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 36(3): 465-72, may/jun.. 1972.
- STANFORD, G.; CARTER, J.N.; WESTERMAN, D.T.; MEISINGER, J.J. Residual nitrate and mineralizable soil nitrogen in relation to nitrogen uptake by irrigated sugarbeets. Agronomy Journal, Madison, 69(2): 303-8, mar./apr. 1977.
- SUMNER, M.E. Diagnosing the sulfur requirements of corn and wheat using foliar analysis. Soil Sciences Society of America Journal, Madison, 45(1): 87-90, jan. 1981.
- SWIFT, R.S. Mineralization and immobilization of sulphur in soil. Sulphur in Agriculture, Washington, 9(2): 20-4, febr. 1985.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. An alkaline oxidation method for determination of total sulphur in soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34(1): 62-5, jan./febr. 1970.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Arylsulfatase activity in soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34(2): 225-9, mar./apr. 1970.

- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Factors affecting soil arylsulfatase activity. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34(3): 427-9, may/jun. 1970.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. Agronomy Journal, Madison, 64(1): 40-4, jan./febr. 1972.
- TABATABAI, M.A. & AL-KHAFAJI, A.A. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, 44(5): 1000-6, sept./oct. 1980.
- TSUJI, T. & GOH, K.M. Evaluation of soil sulphur fractions as sources of plant available sulphur using radioactive sulphur. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 22(4): 595-602, nov. 1979.
- TISDALE, S. & NELSON, W. Soil fertility and fertilizers. 3ed. London, McMillan, 1975. 694p.
- VILLAMÍZAR, F. & LOTERO, J. Respuesta del pasto Pangola a diferentes fuentes y dosis de nitrógeno. Revista del Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá, 2(3): 57-70, sept. 1967.

- VITOLINS, M.I. & SWABY, R.J. Activity of sulphur-oxidizing microorganisms in some Australian soils. Australian Journal of Soil Research, Melbourne, 7(1): 171-3, jan./febr. 1969.
- VITTI, G.C. & RODELLA, A.A. A determinação do enxofre em matéria vegetal pelo método turbidimétrico. Fac. Ci. Vet. - UNESP, Jaboticabal. 1982. 13p. [mimeografado].
- VITTI, G.C. & MALAVOLTA, E. Fosfogesso; uso agrícola. In: MALAVOLTA, E., coord., SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, Piracicaba, 1984. Anais... Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.161-201.
- VITTI, C.G. Efeito do valor do pH na disponibilidade de enxofre em latossolos do Município de Jaboticabal. Jaboticabal, 1979. [Mestrado em Produção Vegetal - UNESP, Jaboticabal].
- VITTI, G.C. & SUZUKI, J. A determinação do enxofre - sulfato pelo método turbidimétrico. Jaboticabal, Fac. Ci. Agr. Vet. - UNESP, 1978. 13p. [mimeografado].

WANG, C.H.; LIEM, T.H.; MIKKELSEN, D.S. Sulfur deficiency - a limiting factor in rice production in the low Amazon basin. I. Development of sulfur deficiency as a limiting factor in rice production. New York, IRI Res. Inst., 1976a. 54p. [Boletim, 47].

WANG, C.H.; LIEM, T.H.; MIKKELSEN, D.S. Sulfur deficiency - a limiting factor in rice production in the low Amazon basin. II. Sulfur requirement for rice production. New York, IRI Res. Inst., 1976b. 46p. [Boletim, 48].

WATSON, E.R. The influence of subterranean clover pastures on soil fertility. III. The effect of applied phosphorus and sulphur. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, 20(3): 447-56, febr. 1969.

WHITE, J.G. Mineralization of nitrogen and sulphur in sulphur deficient soils. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 2(2): 255-8, apr./june, 1959.

WILLIAMS, C.H. & STEINBERGS, A. Soil sulphur fractions as chemical indices of available sulphur in some Australian soils. Australian Journal of Agricultural Science, Melbourne, 10(2): 340-52, febr. 1959.

WILLIAMS, C.H. & STEINBERGS, A. The evaluation of plant sulphur in soils. II. The availability of adsorbed and insoluble sulphates. Plant and Soil, The Hague, 21(1): 50-62, jan. 1964.

WILLIAMS, C.H. Some factors affecting the mineralization of organic sulphur in soils. Plant and Soil, The Hague, 26(2): 205-22, febr. 1967.

WOODHOUSE JUNIOR, W.W. Longterm fertility requirements of Coastal Bermuda grass. III. Sulphur. Agronomy Journal, Madison, 61(5): 705-8, sept./oct. 1969.

7. APÉNDICE

Tabela 1 - Resultados das análises de rotina de terra amostradas, após a incubação (A), após primeiro cultivo (B) e após o segundo cultivo (C) (médias de 3 repetições).

Solo	Níveis S	Catagora	0 ppm S							20 ppm S							40 ppm S																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
			pH	P ppm	K	Ca	Mg	H+Al	IC	pH	P ppm	K	Ca	Mg	H+Al	IC	pH	P ppm	K	Ca	Mg	H+Al	IC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
																								em água	---	meq / 100 g	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

Tabela 2 - Produção de matéria seca da parte aérea do milho (g/vaso), em função da calagem e gessagem, com dois cultivos sucessivos.

Solo (local)	R E P E T	Níveis ppm S	Matéria seca da parte aérea do milho (g/vaso)											
			1º cultivo						2º cultivo					
			s/			c/			s/			c/		
			0	20	40	0	20	40	0	20	40	0	20	40
Anhembi	1		26,06	46,43	33,26	47,76	48,25	53,88	16,95	34,06	43,99	34,87	41,17	58,31
	2		31,25	44,26	35,94	48,16	48,21	48,29	13,86	34,77	38,98	33,42	42,48	61,85
	3		26,85	47,26	33,91	50,13	48,88	50,10	18,86	35,33	42,93	28,76	46,88	62,46
São Pedro	1		22,00	23,52	28,18	28,84	28,65	32,81	13,15	19,13	30,83	20,67	29,02	31,09
	2		22,72	21,05	27,68	30,84	28,52	34,14	17,70	21,45	31,08	22,76	29,70	32,94
	3		21,02	22,05	27,27	31,02	31,66	33,05	18,29	21,90	31,11	25,01	26,33	30,26
Assis	1		25,21	35,27	37,95	29,18	36,93	40,54	12,46	29,99	28,71	10,45	23,60	20,55
	2		23,81	30,73	32,92	27,19	39,23	37,13	12,79	25,42	27,51	11,52	21,33	23,68
	3		26,20	33,26	34,24	27,95	36,13	39,84	14,36	29,25	28,81	11,44	19,85	19,89
Piraçununga-1	1		24,62	24,94	27,24	35,77	33,61	33,15	11,61	33,52	31,86	12,67	31,63	28,41
	2		21,78	26,30	25,89	34,77	32,85	36,15	7,95	36,00	34,04	11,31	34,46	32,50
	3		23,93	26,26	23,89	33,20	36,58	30,96	10,14	34,12	36,44	10,86	32,46	33,05
Piraçununga-2	1		24,79	35,73	32,21	23,15	45,30	34,87	9,22	31,27	34,32	11,06	42,76	45,46
	2		24,94	34,03	35,72	26,15	39,52	35,87	9,84	33,22	34,30	12,10	41,96	45,34
	3		22,31	34,43	35,14	24,72	39,60	39,85	11,24	29,72	36,20	10,07	39,26	43,95
Botucatu-1	1		33,10	33,29	35,19	41,71	41,17	39,10	33,99	47,15	72,88	30,32	55,44	67,00
	2		34,84	32,47	33,40	44,63	41,42	38,10	30,36	46,48	78,60	28,27	54,11	63,50
	3		33,98	31,45	34,25	43,77	44,14	40,10	37,36	45,31	75,60	27,16	54,96	64,29
Botucatu-2	1		32,52	47,76	35,80	41,33	46,66	43,63	30,82	36,96	24,02	44,41	75,25	59,13
	2		37,70	51,25	36,81	41,79	46,20	43,85	29,65	32,94	25,72	41,63	71,53	65,21
	3		36,20	48,95	38,90	44,89	45,02	44,43	30,15	29,94	24,88	42,28	73,00	60,14
Matão	1		49,94	59,25	49,61	41,49	48,81	39,24	19,63	60,80	57,58	15,15	37,74	60,23
	2		46,52	55,17	50,94	40,89	52,95	38,64	19,01	66,26	56,13	14,80	36,69	56,88
	3		43,72	55,39	49,84	42,58	54,39	41,87	18,97	64,00	52,93	12,03	43,86	61,14
Catelão	1		42,09	45,82	41,32	54,17	56,00	53,65	25,52	55,86	88,32	67,76	71,70	77,49
	2		41,24	44,13	40,35	55,40	54,72	53,62	32,61	56,53	81,60	68,25	73,67	79,50
	3		39,37	44,50	38,73	55,65	53,60	56,02	26,69	61,22	80,55	64,17	80,04	81,23
São Sebastião do Paraíso-1	1		33,06	50,47	55,99	40,79	44,88	46,82	20,19	43,52	55,10	18,56	41,50	57,87
	2		39,63	49,24	52,18	38,74	42,50	45,72	14,21	44,63	49,63	19,05	43,86	54,30
	3		35,45	47,69	51,05	39,10	46,50	48,32	15,00	47,50	48,87	20,20	43,66	54,29
São Sebastião do Paraíso-2	1		24,61	33,34	36,82	34,02	41,08	39,51	19,96	44,21	42,21	35,57	44,29	58,47
	2		22,89	37,34	33,57	35,12	42,92	38,78	15,32	40,17	42,46	42,00	44,69	56,91
	3		27,70	38,13	30,92	33,58	45,25	41,01	18,29	44,89	40,55	38,69	46,46	60,49
Rio Parnaíba	1		18,09	41,86	38,50	45,38	41,38	46,56	17,50	29,86	55,96	29,54	58,23	66,56
	2		19,06	45,83	37,75	39,19	39,31	45,10	16,56	30,15	51,17	26,69	55,69	63,11
	3		17,06	39,83	42,11	41,88	36,40	41,36	15,31	31,75	58,27	30,06	53,65	63,19

(1) Ausência (s/) e presença (c/) de calagem conforme recomendações.

Tabela 3 - Teores totais de nitrogênio, fósforo e enxofre na parte aérea do milho, em função da calagem e da gessagem em dois cultivos sucessivos.

Solo (local)	C A L A C E M	n-veia de 5-ppm	Teores de N, P e S na parte aérea do milho (1)																		
			1º cultivo									2º cultivo									
			Repet.	0			20			40			0			20			40		
				N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S
Anhembi	s/	1	3,18	0,55	0,13	2,66	0,48	0,13	2,58	0,52	0,12	2,16	0,51	0,07	1,40	0,46	0,12	1,38	0,43	0,12	
		2	3,13	0,57	0,14	2,48	0,47	0,14	3,14	0,52	0,15	2,08	0,53	0,07	1,45	0,43	0,13	1,21	0,44	0,12	
		3	3,09	0,56	0,15	2,31	0,45	0,14	2,83	0,52	0,16	2,07	0,55	0,07	1,36	0,49	0,10	1,55	0,46	0,12	
	c/	1	1,80	0,49	0,16	1,87	0,56	0,19	1,47	0,62	0,15	1,75	0,48	0,06	1,25	0,34	0,08	1,14	0,35	0,11	
		2	1,70	0,51	0,15	1,85	0,51	0,19	1,51	0,62	0,16	1,95	0,49	0,07	1,18	0,36	0,08	1,19	0,36	0,10	
		3	1,60	0,52	0,13	1,90	0,59	0,18	1,71	0,62	0,16	1,85	0,48	0,06	1,21	0,35	0,08	1,09	0,35	0,10	
São Pedro	s/	1	3,19	0,66	0,15	3,42	0,66	0,20	3,46	0,66	0,20	4,20	0,66	0,09	2,52	0,55	0,08	2,00	0,41	0,10	
		2	3,16	0,64	0,13	3,42	0,64	0,21	3,07	0,62	0,20	3,57	0,61	0,07	2,40	0,57	0,07	1,99	0,42	0,09	
		3	3,16	0,65	0,14	3,43	0,62	0,21	3,26	0,64	0,20	3,68	0,63	0,08	2,45	0,61	0,08	2,00	0,63	0,10	
	c/	1	2,95	0,64	0,15	3,08	0,68	0,18	2,97	0,64	0,16	2,55	0,57	0,07	2,84	0,51	0,08	1,74	0,55	0,10	
		2	2,87	0,64	0,15	2,86	0,68	0,20	3,00	0,55	0,17	2,23	0,57	0,06	2,88	0,51	0,09	1,74	0,56	0,09	
		3	3,04	0,64	0,15	2,97	0,68	0,18	2,95	0,60	0,16	2,39	0,60	0,05	2,93	0,51	0,09	1,72	0,54	0,10	
Assis	s/	1	2,02	0,54	0,08	2,09	0,42	0,12	2,11	0,52	0,14	3,27	0,57	0,06	2,11	0,51	0,07	2,88	0,48	0,08	
		2	2,11	0,52	0,08	2,70	0,46	0,12	1,97	0,51	0,16	3,64	0,57	0,06	2,34	0,52	0,08	2,73	0,51	0,09	
		3	1,93	0,53	0,08	1,98	0,44	0,12	2,25	0,54	0,16	3,50	0,56	0,06	2,22	0,51	0,08	2,59	0,55	0,09	
	c/	1	2,16	0,55	0,08	2,49	0,41	0,10	1,83	0,44	0,14	4,27	0,62	0,05	3,26	0,53	0,06	2,97	0,54	0,08	
		2	2,46	0,60	0,08	2,72	0,44	0,10	1,95	0,46	0,17	4,20	0,63	0,05	3,40	0,54	0,08	2,92	0,54	0,07	
		3	2,31	0,61	0,08	2,60	0,41	0,10	1,72	0,43	0,15	4,13	0,59	0,05	3,16	0,52	0,05	2,67	0,54	0,09	
Piracumun- ga-1	s/	1	3,00	0,28	0,06	2,73	0,21	0,16	3,35	0,23	0,17	3,85	0,48	0,06	1,88	0,25	0,08	1,78	0,27	0,15	
		2	2,90	0,29	0,08	2,80	0,21	0,17	3,18	0,21	0,17	3,79	0,50	0,07	1,91	0,24	0,10	1,83	0,28	0,14	
		3	2,80	0,27	0,08	2,67	0,22	0,19	3,26	0,22	0,19	3,74	0,52	0,06	1,95	0,24	0,09	1,69	0,29	0,14	
	c/	1	2,32	0,29	0,08	2,48	0,21	0,12	2,45	0,20	0,14	3,51	0,54	0,06	1,93	0,37	0,08	1,70	0,34	0,12	
		2	2,27	0,27	0,10	2,66	0,22	0,11	2,41	0,21	0,14	3,51	0,54	0,06	1,79	0,42	0,09	1,79	0,35	0,11	
		3	2,54	0,28	0,09	2,31	0,21	0,12	2,38	0,22	0,16	3,51	0,54	0,07	1,86	0,39	0,08	1,67	0,34	0,11	
Piracumun- ga-2	s/	1	2,87	0,23	0,06	3,30	0,26	0,16	3,40	0,24	0,20	3,04	0,55	0,06	1,90	0,31	0,08	2,37	0,32	0,15	
		2	2,84	0,25	0,07	3,42	0,15	0,16	3,21	0,23	0,20	3,17	0,55	0,06	1,82	0,31	0,09	1,87	0,33	0,14	
		3	2,86	0,24	0,07	3,25	0,21	0,15	3,60	0,24	0,21	2,95	0,52	0,06	1,89	0,31	0,10	2,26	0,31	0,15	
	c/	1	2,43	0,25	0,12	3,06	0,30	0,15	2,69	0,36	0,18	3,68	0,49	0,07	1,69	0,26	0,07	1,76	0,29	0,13	
		2	2,37	0,25	0,12	3,01	0,31	0,15	2,72	0,38	0,19	3,30	0,48	0,07	1,54	0,30	0,08	1,66	0,28	0,15	
		3	2,51	0,26	0,11	3,14	0,27	0,15	2,80	0,27	0,16	3,53	0,47	0,07	1,71	0,31	0,08	1,67	0,29	0,15	
Botucatu-1	s/	1	3,00	0,45	0,16	3,60	0,52	0,23	3,60	0,60	0,28	2,06	0,42	0,10	1,82	0,41	0,13	1,75	0,34	0,11	
		2	3,05	0,46	0,18	3,45	0,55	0,25	3,18	0,44	0,15	2,06	0,42	0,12	1,88	0,40	0,12	1,80	0,38	0,12	
		3	3,04	0,46	0,19	3,56	0,48	0,23	3,37	0,42	0,19	2,13	0,40	0,11	1,83	0,39	0,13	1,83	0,37	0,12	
	c/	1	2,94	0,47	0,18	2,76	0,42	0,18	2,70	0,29	0,15	2,70	0,33	0,11	1,80	0,31	0,14	1,83	0,32	0,13	
		2	2,74	0,45	0,17	2,55	0,41	0,18	2,73	0,30	0,15	2,73	0,36	0,13	1,57	0,32	0,14	2,00	0,37	0,14	
		3	3,07	0,49	0,19	2,69	0,39	0,18	2,90	0,35	0,15	2,69	0,35	0,13	1,75	0,34	0,14	1,97	0,31	0,13	
Botucatu-2	s/	1	2,45	0,23	0,14	2,49	0,22	0,16	2,49	0,20	0,15	2,10	0,28	0,14	2,15	0,27	0,14	2,40	0,27	0,14	
		2	2,31	0,22	0,13	2,51	0,21	0,17	2,42	0,20	0,15	2,10	0,23	0,14	2,10	0,27	0,14	2,41	0,27	0,15	
		3	2,60	0,24	0,15	2,71	0,22	0,16	2,39	0,21	0,15	2,10	0,27	0,13	2,25	0,25	0,14	2,38	0,26	0,13	
	c/	1	2,60	0,25	0,15	2,49	0,32	0,19	2,30	0,28	0,26	1,90	0,27	0,11	1,80	0,28	0,15	1,83	0,13	0,13	
		2	2,59	0,15	0,15	2,50	0,31	0,18	2,32	0,30	0,28	1,68	0,27	0,11	1,74	0,25	0,14	1,74	0,16	0,14	
		3	2,66	0,26	0,15	2,38	0,32	0,19	2,40	0,31	0,27	1,82	0,26	0,10	1,78	0,28	0,16	1,68	0,13	0,13	
Matão	s/	1	2,13	0,64	0,14	1,90	0,54	0,25	1,93	0,46	0,22	3,00	0,49	0,07	1,82	0,25	0,08	1,56	0,29	0,10	
		2	2,51	0,48	0,15	1,72	0,55	0,25	1,81	0,48	0,22	2,79	0,49	0,06	1,78	0,30	0,06	1,46	0,28	0,10	
		3	2,48	0,66	0,15	1,96	0,54	0,25	1,75	0,44	0,22	3,12	0,49	0,07	1,61	0,31	0,08	1,43	0,31	0,10	
	c/	1	2,25	0,62	0,16	1,86	0,57	0,25	2,37	0,62	0,26	2,94	0,57	0,06	1,78	0,34	0,08	1,71	0,26	0,11	
		2	1,96	0,41	0,18	1,75	0,54	0,23	2,28	0,62	0,27	2,93	0,51	0,06	1,68	0,37	0,09	1,47	0,28	0,10	
		3	2,03	0,61	0,15	1,81	0,59	0,25	2,35	0,62	0,26	2,87	0,52	0,07	1,74	0,32	0,08	1,14	0,28	0,11	
Catalão	s/	1	2,42	0,34	0,24	2,66	0,38	0,25	2,45	0,30	0,34	2,18	0,36	0,06	2,48	0,21	0,11	1,76	0,23	0,12	
		2	2,34	0,31	0,22	2,24	0,40	0,24	2,41	0,33	0,34	2,02	0,32	0,08	2,37	0,25	0,12	1,71	0,24	0,12	
		3	2,45	0,32	0,23	2,61	0,39	0,25	2,46	0,36	0,34	2,30	0,30	0,08	2,51	0,23	0,11	1,54	0,25	0,12	
	c/	1	2,30	0,40	0,26	2,18	0,38	0,30	2,63	0,35	0,31	1,43	0,29	0,10	1,56	0,27	0,12	1,34	0,33	0,12	
		2	2,10	0,40	0,25	2,17	0,13	0,29	2,49	0,40	0,30	1,40	0,29	0,09	1,47	0,29	0,12	1,88	0,35	0,12	
		3	2,31	0,41	0,28	2,20	0,40	0,31	2,59	0,37	0,29	1,44	0,28	0,10	1,65	0,28	0,11	1,67	0,32	0,12	
São Sebastião do Paraíso-1	s/	1	2,37	0,44	0,17	2,60	0,43	0,27	2,63	0,51	0,30	3,26	0,46	0,07	2,20	0,25	0,08	1,53	0,21	0,13	
		2	2,44	0,46	0,17	2,34	0,42	0,24	2,61	0,50	0,30	3,32	0,46	0,07	1,75	0,23	0,09	1,43	0,21	0,13	
		3	2,24	0,42	0,18	2,59	0,45	0,31	2,59	0,49	0,31	3,18	0,49	0,08	1,75	0,30	0,08	1,61	0,21	0,13	
	c/	1	2,60	0,54	0,21	2,58	0,45	0,32	2,45	0,45	0,30	2,53	0,42	0,07	1,72	0,28	0,10	1,64	0,23	0,10	
		2	2,44	0,51	0,20	2,60	0,48	0,34	2,52	0,40	0,30	2,92	0,46	0,07	1,64	0,29	0,10	1,54	0,25	0,11	
		3	2,56	0,57	0,23	2,52	0,42	0,30	2,30	0,42	0,43	3,34	0,46	0,07	1,61	0,28	0,10	1,67	0,23	0,12	
São Sebastião do Paraíso-2	s/	1	2,53	0,29	0,23	2,40	0,22	0,28	2,39	0,20	0,24	2,42	0,50	0,06	1,62	0,25	0,10	1,65	0,21	0,13	
		2	2,67	0,29	0,23	2,51	0,22	0,25	2,56	0,21	0,22	2,59	0,46	0,07	1,40	0,23	0,10	1,62	0,21	0,15	
		3	2,74	0,30	0,22	2,25	0,21	0,23	2,50	0,27	0,24	2,75	0,49	0,06	1,61	0,24	0,10	1,74	0,25	0,14	
	c/	1	2,56	0,25	0,22	2,34	0,24	0,23	2,59	0,28	0,21	2,10	0,42	0,10	1,64	0,28	0,14	1,67	0,23	0,14	
		2	2,47	0,24	0,20	2,59	0,23	0,25	2,28	0,29	0,20	1,99	0,44	0,09	1,65	0,29	0,14	1,72	0,25	0,15	
		3	2,49	0,24	0,19	2,16	0,24	0,21	2,39	0,26	0,20	2,03	0,46	0,07	1,47	0,28	0,14	1,62	0,23	0,14	
Rio Paraíba	s/	1	2,69	0,30	0,14	2,69	0,29	0,18	2,20	0,26	0,24	3,04	0,29	0,05	2,10	0,14	0,07	1,38	0,16	0,12	
		2	2,54	0,29	0,15	2,70	0,28	0,20	2,63	0,26	0,29	2,94	0,27	0,05	2,28						

Tabela 4.1 - Resultados das determinações de $S-SO_4^{=}$ disponível nas amostras de terra após a incubação, após o primeiro cultivo e após o segundo cultivo

Selo (local)	Nível S Cálculo gem	T	Teores de S-SO ₄ ⁼ disponível nos solos pelos extratores (ppm S)																		
			NH ₄ Cl 8,5N/100AC 0,25N																Ca(H ₂ PO ₄) ₂ - 500 ppm P/100AC 2,5N		
			0						20						40						
			A		B		C		A		B		C		A		B		C		
			A (2)	B (2)	C (2)	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Anambi	s/ (1)	1	8,4	3,9	5,4	11,4	8,4	8,4	16,1	11,4	6,9	6,2	4,1	2,8	11,5	8,0	4,1	22,7	9,7	6,2	
		2	8,4	3,9	5,4	11,4	8,4	6,9	19,4	11,4	5,4	8,0	6,2	2,8	11,5	8,0	4,1	18,9	11,5	6,2	
		3	6,9	3,4	5,4	11,4	6,9	6,9	17,8	11,4	8,4	6,2	4,1	2,8	11,5	8,0	4,1	22,7	9,7	6,2	
	c/ (1)	1	8,4	6,9	3,9	13,0	8,4	5,4	19,4	13,0	5,4	9,7	6,2	4,1	13,7	10,6	4,1	20,8	15,2	4,1	
		2	9,9	6,4	6,9	13,0	8,4	3,9	17,8	11,4	5,4	8,0	6,2	4,2	13,7	9,7	4,1	22,7	13,7	4,1	
		3	9,9	6,9	5,4	14,6	9,9	3,9	16,1	13,0	5,4	11,5	6,2	4,1	13,7	11,5	4,1	20,8	13,7	4,1	
São Pedro s/	1	6,9	6,4	8,4	13,0	11,4	6,9	24,4	11,4	6,9	6,2	4,1	4,1	13,7	6,2	4,1	17,0	8,0	6,2		
	2	8,4	8,4	6,9	14,6	8,4	8,4	24,4	13,0	6,9	6,2	4,1	6,2	13,7	6,2	6,2	20,8	9,7	4,1		
	3	6,9	6,9	8,4	16,1	8,4	8,4	24,4	11,4	6,9	8,0	5,4	4,1	13,7	6,2	6,2	18,9	8,0	4,1		
	c/	1	11,4	8,4	6,9	19,4	9,9	9,9	22,8	22,7	9,9	6,2	6,2	8,0	15,2	8,0	4,1	26,6	15,2	4,1	
		2	8,4	8,4	8,4	24,4	11,4	6,9	22,8	21,0	9,9	8,0	6,2	4,1	17,0	6,2	5,2	24,7	18,9	4,1	
		3	8,4	8,4	8,4	19,4	11,4	9,9	31,3	19,4	8,4	6,2	6,2	6,2	15,2	6,2	4,1	26,2	15,2	4,1	
Assis s/	1	5,4	2,4	3,9	19,4	3,9	5,4	27,8	6,9	6,9	8,0	8,0	8,0	15,2	5,2	6,2	26,6	9,7	7,1		
	2	6,9	2,4	3,9	19,4	3,9	5,4	26,1	6,9	5,4	9,2	6,2	9,7	17,0	8,0	8,0	30,2	9,7	8,0		
	3	6,9	2,4	3,9	19,4	5,4	3,9	27,8	8,4	3,9	9,7	7,1	8,0	17,0	9,7	8,9	28,6	8,0	8,0		
	c/	1	6,9	3,9	3,9	17,8	6,9	2,5	22,8	9,9	2,5	9,7	8,0	4,1	11,5	8,0	6,2	25,6	6,2	8,0	
		2	8,4	2,4	3,9	18,4	6,9	2,5	24,4	11,4	5,4	9,7	8,0	4,1	13,7	6,2	6,2	29,7	8,0	8,0	
		3	6,9	2,4	3,9	18,4	5,4	3,9	26,6	11,4	3,9	8,0	8,0	6,2	13,7	8,0	6,2	26,6	7,1	8,0	
Piracuna-1 s/	1	3,9	2,2	2,2	11,4	8,4	6,9	21,0	9,9	6,9	4,5	4,5	4,5	13,3	6,2	4,5	17,0	9,7	6,2		
	2	5,4	3,9	3,9	14,6	8,4	6,9	22,7	9,9	5,4	6,2	4,5	4,5	11,4	8,0	6,2	17,0	9,7	6,2		
	3	5,4	3,9	5,4	13,0	9,9	5,4	21,0	11,4	6,9	5,3	4,5	4,5	13,3	9,7	4,5	17,0	11,4	6,2		
	c/	1	5,4	3,9	2,5	11,4	5,4	3,9	17,8	6,9	5,4	6,2	4,5	4,5	13,3	6,2	4,5	16,9	6,2	4,5	
		2	3,9	3,9	3,9	13,0	5,4	2,5	16,1	8,4	5,4	6,2	4,5	4,5	11,4	6,2	4,5	15,2	6,2	4,5	
		3	3,9	3,9	2,5	11,4	5,4	2,5	16,1	6,9	5,4	8,0	6,2	4,5	15,2	6,2	4,5	13,3	8,0	4,5	
Piracuna-2 s/	1	3,9	2,5	1,0	14,6	3,9	3,9	24,4	11,4	6,9	4,5	4,5	6,2	11,4	6,2	6,2	15,2	9,7	8,0		
	2	3,9	2,5	5,4	14,6	3,9	5,4	22,7	16,1	9,9	4,5	4,5	6,2	9,7	6,2	6,2	17,0	13,3	11,4		
	3	3,9	3,9	3,9	16,1	5,4	6,9	27,8	11,4	8,4	4,5	4,5	4,5	9,7	6,2	6,2	15,2	9,7	8,0		
	c/	1	8,4	3,9	5,4	19,4	3,9	2,5	29,5	9,9	3,9	6,2	4,5	4,5	9,7	4,5	2,8	17,0	11,4	4,5	
		2	6,9	3,9	2,5	17,8	3,9	3,9	29,5	11,4	5,4	6,2	4,5	4,5	11,4	4,5	2,8	17,0	9,7	4,5	
		3	6,9	2,5	2,5	12,6	3,9	3,9	24,4	9,9	3,9	6,2	4,5	4,5	9,7	4,5	2,8	17,0	9,7	4,5	
Botucatu-1 s/	1	8,4	3,9	2,5	17,8	8,4	3,9	29,6	16,1	3,9	3,3	9,7	6,2	28,6	15,2	8,0	43,2	28,6	6,0		
	2	11,4	6,9	3,9	17,8	9,9	3,9	31,3	11,4	3,9	17,0	11,4	6,2	26,6	12,7	8,0	41,1	32,7	9,7		
	3	11,4	5,4	5,4	17,8	9,9	5,4	36,9	11,4	3,9	15,2	11,4	6,2	26,6	15,2	8,0	41,1	26,6	8,0		
	c/	1	9,9	3,9	2,5	19,4	11,4	5,4	22,7	21,0	5,4	17,0	9,7	5,2	30,6	15,2	8,0	24,8	23,7	4,1	
		2	11,4	6,9	3,9	17,8	11,4	5,4	24,4	21,0	5,4	15,2	9,7	6,2	30,6	17,0	6,2	36,0	25,8	4,1	
		3	13,0	5,4	5,4	17,8	13,0	5,4	27,8	21,0	5,4	17,0	9,7	6,2	28,6	17,0	6,2	34,7	22,7	4,1	
Botucatu-2 s/	1	13,0	8,4	6,9	22,7	13,0	11,4	34,9	19,4	17,8	8,8	6,2	4,5	11,4	9,7	6,2	17,0	13,3	8,0		
	2	13,0	9,9	9,9	24,4	13,0	11,4	33,0	26,1	16,1	8,0	8,0	4,5	11,4	9,7	6,2	15,2	9,7	8,0		
	3	13,0	8,4	6,9	21,4	16,1	9,9	31,1	24,4	17,8	8,0	6,2	4,5	9,7	9,7	6,2	17,0	8,4	8,0		
	c/	1	14,6	13,0	8,3	24,4	19,4	11,4	31,3	22,7	11,4	9,7	6,2	4,5	15,2	8,0	4,2	18,9	11,4	8,0	
		2	14,6	13,0	9,5	24,4	19,4	9,9	34,9	21,0	11,4	8,0	6,2	4,5	15,2	9,7	7,0	17,0	11,4	11,4	
		3	16,1	13,0	11,4	24,4	19,4	11,4	34,9	24,4	11,4	11,4	6,2	4,5	13,3	9,7	8,0	16,9	11,4	8,0	
Matão s/	1	3,9	3,9	2,4	8,4	3,9	3,9	13,0	5,4	2,4	5,3	4,1	6,2	11,4	6,2	6,2	17,0	9,7	6,2		
	2	3,9	3,9	2,4	9,9	5,4	5,4	13,0	3,9	3,9	6,2	4,1	6,2	11,4	6,2	5,3	18,9	11,4	6,2		
	3	3,9	2,4	3,9	9,9	3,9	3,9	13,0	5,4	5,4	6,2	4,1	6,2	9,7	6,2	4,1	17,0	9,7	4,2		
	c/	1	3,9	3,9	3,9	9,9	3,9	2,4	19,4	3,9	2,4	8,0	4,1	4,1	13,3	8,0	4,1	22,7	9,7	4,1	
		2	3,9	3,9	2,4	9,9	3,9	2,4	16,1	3,9	2,4	8,0	4,1	4,1	13,3	6,2	4,1	18,9	9,7	4,1	
		3	6,4	3,9	5,4	9,9	2,4	2,4	17,8	5,4	2,4	8,0	4,1	4,1	5,2	6,2	4,1	18,9	9,2	4,1	
Catalão s/	1	9,9	3,9	2,4	19,4	14,6	9,9	27,8	16,1	11,4	6,2	6,2	4,1	9,7	9,7	6,2	11,4	6,2	6,2		
	2	8,4	2,4	3,9	17,8	11,4	9,9	29,5	14,6	9,9	6,2	6,2	4,1	9,7	8,0	6,2	11,5	6,2	6,2		
	3	9,9	3,9	3,9	16,1	11,4	5,4	27,8	17,8	13,0	6,2	6,2	4,1	9,7	8,0	6,2	9,7	6,2	6,2		
	c/	1	14,6	2,4	3,9	17,8	6,9	2,4	29,5	11,4	3,9	11,5	6,2	6,2	17,0	9,7	6,2	24,7	15,2	11,5	
		2	11,4	3,9	1,7	21,0	9,9	2,4	29,5	11,4	2,4	11,5	6,2	6,2	17,0	9,7	6,2	28,6	13,3	11,5	
		3	11,4	2,4	2,4	21,0	8,4	1,7	32,0	13,0	5,4	9,7	6,2	5,3	17,0	8,0	6,2	26,4	15,2	11,5	
São Sebastião do Paraíso-1 s/	1	1,7	1,7	1,7	6,9	2,4	1,7	17,8	6,9	2,4	4,1	2,8	2,8	6,2	6,2	4,1	13,3	9,7	9,7		
	2	17,1	17,1	17,1	8,4	3,9	1,7	13,0	5,4	2,4	3,6	4,1	2,8	8,0	5,3	2,8	13,3	8,0	7,1		
	3	1,7	1,7	1,7	8,4	3,9	1,2	14,6	5,4	2,4	3,4	4,1	2,8	6,2	4,1	2,8	13,3	8,0	8,0		
	c/	1	1,7	1,7	1,7	9,7	2,4	1,7	14,6	3,9	3,9	4,1	5,3	6,2	8,0	8,0	6,2	16,9	11,5	5,9	
		2	1,7	1,7	1,7	6,9	2,4	1,2	14,6	3,9	2,4	4,1	4,1	4,1	8,0	6,2	6,2	17,0	9,7	7,1	
		3	17,1	17,1	17,1	8,4	2,4	1,2	14,6	3,9	3,9	6,2	5,3	4,1	8,0	6,2	6,2	18,9	9,7	6,2	
São Sebastião do Paraíso-2 s/	1	1,7	1,0	1,0	9,9	3,9	2,4	24,4	8,4	6,9	6,2	4,1	2,8	9,7	6,2	6,2	15,2	9,7	8,0		
	2	3,9	1,0	1,0	11,4	3,9	2,4	26,1	9,9	5,4	6,2	4,1	2,8	8,8	6,2	6,2	15,2	9,7	8,0		
	3	2,4	2,4	1,0	11,4	3,9	3,9	27,8	11,4	6,9	6,2	4,1	2,8	9,7	6,2	6,2	17,0	9,7	8,0		
	c/	1	2,4	2,4	1,0	13,0	3,9	1,0	26,1	9,9	2,4	6,2	6,2	6,2	9,7	8,0	6,2	20,8	11,5	8,0	
		2	2,4	1,7	1,0	16,1	5,4	1,7	24,4	8,4	3,9	6,2	6,2	6,2	11,5	8,0	6,2	16,9	11,5	9,7	
		3	2,4	2,4	1,0	14,6	3,9	1,0	29,5	9,9	3,9	5,2	6,2	6,2	9,7	9,7	6,2	22,7	11,5	8,0	
Rio Faltado s/	1	1,7	2,4	2,4	6,9	3,9	2,4	16,1	8,4	5,4	8,0	6,2	6,2	8,0	8,0	6,2	9,7	8,0	8,0		
	2	1,7	1,7	2,4	8,4	3,9	2,4	16,1	9,9	4,9	8,0	6,2	6,2	8,0	8,0	6,2	9,7	8,0	6,2		
	3	1,7	2,4	2,4	6,9	3,9	2,4	17,8	9,9	5,4	8,0	6,2	6,2	8,0	8,0	6,2	9,7	8,0	6,0		
	c/	1	3,9	1,0	1,0	9,9	3,9	2,4	16,1	5,4	2,4	8,0	6,2	6,2	11,5	8,0	8,0	11,1	8,0	8,0	
		2	3,9	1,0	2,4	8,4	3,9	2,4	17,8	5,4	3,9	8,0	6,2	6,2	9,7	8,0	8,0	11,1	8,0	8,0	
		3	3,9	1,0	1,0	9,9	2,4	2,4	13,0	5,4	3,9	8,0	6,2	6,2	9,7	8,0	6,2	13,1	8,0	8,0	

Tabela 4.2 - Resultados das determinações de $S-SO_4^{=}$ disponível nas amostras de terra após a incubação, após o primeiro cultivo e após o segundo cultivo.

Solos (local)	Cultivo	Nível	Teores de $S-SO_4^{=}$ disponível nos solos pelas extrações (ppm S)														
			CeCl ₂ 0,152									HCl 0,05M					
			0			20			40			0			20		
			A(2)	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C ⁽³⁾	A	B	C
Anhembi	s/	1	12,7	9,8	6,9	21,5	15,6	12,7	33,8	18,6	15,6	4,7	7,1	-	5,9	8,4	-
		2	12,7	9,8	6,9	18,6	15,6	12,7	27,6	18,6	15,6	3,3	7,1	-	7,1	8,4	-
		3	12,7	9,8	6,9	18,6	15,6	12,7	37,6	21,5	15,6	3,3	7,1	-	5,9	8,4	-
	c/	1	12,7	12,7	9,8	21,5	15,6	15,6	33,8	21,5	18,6	4,7	8,4	-	5,9	9,6	-
		2	15,6	12,7	9,8	24,5	18,6	15,6	30,6	18,6	16,6	3,1	8,4	-	5,9	8,4	-
		3	15,6	12,7	9,8	24,5	18,6	15,6	30,6	18,6	15,6	3,3	8,4	-	5,9	10,9	-
São Pedro	s/	1	15,6	4,1	4,1	18,6	6,9	6,9	27,6	3,8	6,9	4,7	13,4	-	8,4	9,6	-
		2	12,7	4,1	4,1	18,6	6,9	6,9	20,6	9,8	6,9	3,3	9,6	-	8,4	9,6	-
		3	15,6	4,1	4,1	18,6	6,9	6,9	30,6	9,8	6,9	4,7	9,6	-	8,4	9,6	-
	c/	1	15,6	6,9	4,1	21,5	9,8	6,9	30,6	18,9	6,9	5,9	9,6	-	7,1	13,4	-
		2	18,6	6,9	4,1	24,5	12,7	6,9	30,6	21,5	6,9	5,9	9,6	-	8,4	12,1	-
		3	15,6	6,9	4,1	24,5	9,8	6,9	30,6	21,5	6,9	5,9	8,4	-	8,4	12,1	-
Assis	s/	1	15,6	12,7	6,9	21,5	15,6	9,8	30,6	18,6	5,8	10,9	16,0	-	13,4	20,1	-
		2	15,6	12,7	6,9	24,5	15,6	9,8	27,6	18,6	9,8	8,4	16,0	-	13,4	18,7	-
		3	15,6	12,7	9,8	24,5	15,6	9,8	30,6	18,6	6,9	9,7	17,4	-	14,7	21,4	-
	c/	1	15,6	12,7	4,1	18,6	15,6	2,7	27,6	18,6	4,1	9,6	13,4	-	10,9	13,4	-
		2	15,6	12,7	4,1	18,6	15,6	4,1	30,6	21,5	6,9	8,4	13,4	-	12,1	13,4	-
		3	12,7	9,8	4,1	21,5	15,6	4,1	30,6	21,5	6,9	8,4	13,4	-	10,9	13,4	-
Piracuna-1	s/	1	4,1	6,9	4,1	6,9	6,9	9,8	12,7	5,8	9,8	3,4	4,7	-	3,9	9,6	-
		2	4,1	4,1	6,9	6,9	9,8	6,9	12,7	9,8	9,8	2,3	4,7	-	3,3	5,9	-
		3	4,1	6,9	6,9	6,9	9,8	9,8	15,6	9,8	9,8	2,3	4,7	-	4,7	8,4	-
	c/	1	6,9	6,9	6,9	15,6	6,9	4,1	21,5	9,8	6,9	3,3	7,1	-	2,3	7,1	-
		2	6,9	6,9	6,9	12,7	9,8	6,9	18,6	9,8	6,9	3,3	7,1	-	3,3	5,9	-
		3	6,9	6,9	6,9	15,6	9,8	6,9	18,6	9,8	9,8	3,3	4,7	-	3,4	5,9	-
Piracuna-2	s/	1	4,1	6,9	4,1	9,8	9,8	4,1	15,6	15,6	6,9	5,9	9,6	-	5,9	8,4	-
		2	4,1	6,9	4,1	9,8	9,8	6,9	15,6	15,6	9,8	2,1	8,4	-	7,1	6,4	-
		3	6,9	6,9	4,1	9,8	9,8	6,9	15,6	15,6	9,8	2,1	10,8	-	5,9	9,6	-
	c/	1	9,8	9,8	6,9	15,6	9,8	6,9	24,6	15,6	9,8	5,9	9,6	-	8,4	12,1	-
		2	6,9	6,9	6,9	18,6	12,7	6,9	24,6	12,7	6,9	9,6	9,6	-	8,4	10,8	-
		3	9,8	9,8	4,1	15,6	9,8	6,9	21,5	15,6	9,8	8,4	9,6	-	5,9	8,4	-
Botucatu-1	s/	1	15,6	12,7	9,8	21,5	15,6	9,8	37,0	30,7	12,7	13,4	22,6	-	20,0	27,1	-
		2	15,6	12,7	9,8	21,5	15,6	9,8	37,0	30,7	12,7	13,4	21,4	-	20,0	21,7	-
		3	15,6	12,7	6,9	21,5	15,6	9,8	37,0	27,6	12,7	12,4	24,2	-	21,4	24,2	-
	c/	1	21,5	15,6	9,8	30,7	21,5	9,8	37,0	30,7	9,8	18,7	22,1	-	20,0	21,4	-
		2	21,5	18,6	9,8	33,8	24,5	9,8	37,0	27,6	9,8	17,4	22,8	-	18,3	22,1	-
		3	21,5	15,6	12,7	30,7	21,5	9,8	37,0	27,6	9,8	12,4	21,4	-	20,1	27,1	-
Botucatu-2	s/	1	9,8	9,8	6,9	15,6	15,6	6,9	21,5	18,6	15,4	9,6	8,4	-	10,8	8,4	-
		2	9,8	9,8	9,8	15,6	15,6	6,9	18,6	18,6	15,6	9,6	8,4	-	18,1	8,4	-
		3	12,7	9,8	9,8	18,6	15,6	9,8	21,5	18,6	15,6	9,6	8,4	-	12,1	9,6	-
	c/	1	15,6	15,6	9,8	24,5	18,6	15,6	27,6	21,5	16,5	7,1	8,4	-	8,4	8,4	-
		2	18,6	12,7	9,8	21,5	18,6	12,7	24,5	21,5	18,6	7,1	8,4	-	5,9	9,6	-
		3	18,6	15,6	12,7	21,5	18,6	12,7	21,5	21,5	21,5	7,1	8,4	-	7,1	10,5	-
Hortão	s/	1	6,9	6,9	6,9	12,7	6,9	6,9	18,6	9,8	9,8	8,4	10,9	-	9,6	10,9	-
		2	6,9	6,9	4,1	12,7	6,9	6,9	15,6	12,7	6,9	8,4	10,9	-	9,6	13,4	-
		3	4,1	6,9	6,9	12,7	9,8	6,9	18,6	9,8	9,8	8,4	12,1	-	9,6	10,9	-
	c/	1	9,8	6,9	4,1	18,6	6,9	6,9	24,5	9,8	6,9	9,6	10,9	-	9,6	9,6	-
		2	9,8	6,9	4,1	18,6	6,9	6,9	21,5	9,8	9,8	9,6	13,4	-	9,6	8,4	-
		3	9,8	4,1	4,1	18,6	6,9	6,9	21,5	9,8	6,9	8,4	10,9	-	8,4	9,6	-
Catalão	s/	1	6,9	6,9	4,1	9,8	9,8	6,9	15,6	9,8	9,8	4,7	4,7	-	8,4	8,4	-
		2	6,9	6,9	4,1	9,8	9,8	6,9	15,6	9,8	6,9	4,7	3,3	-	7,1	3,3	-
		3	6,9	6,9	4,1	9,8	9,8	6,9	15,6	9,8	9,8	5,9	4,7	-	5,9	3,3	-
	c/	1	18,6	9,8	6,9	24,5	12,7	6,9	30,7	15,6	12,7	5,9	3,3	-	3,3	7,1	-
		2	21,5	9,8	6,9	24,5	15,6	9,8	37,0	18,6	12,7	5,9	3,3	-	4,7	5,9	-
		3	21,5	9,8	6,9	24,5	15,6	9,8	30,7	15,6	12,7	5,9	3,3	-	4,7	5,9	-
São Sebastião do Paraíso-1	s/	1	9,8	6,9	4,1	12,7	9,8	6,9	24,5	15,6	9,8	8,4	5,9	-	5,9	7,1	-
		2	6,9	6,9	4,1	12,7	9,8	6,9	24,5	15,6	9,8	5,9	7,1	-	8,4	7,1	-
		3	9,8	6,9	6,9	15,6	9,8	6,9	24,5	15,6	9,8	8,4	6,4	-	7,1	9,6	-
	c/	1	12,7	12,7	4,1	18,6	15,6	6,9	24,5	18,6	6,9	5,9	8,4	-	5,9	9,6	-
		2	12,7	12,7	6,9	18,6	15,6	6,9	27,6	18,6	6,9	8,4	8,4	-	7,1	8,4	-
		3	12,7	12,7	6,9	18,6	15,6	6,9	24,5	18,6	6,9	7,1	8,4	-	7,1	8,4	-
São Sebastião do Paraíso-2	s/	1	4,1	4,1	4,1	9,8	9,8	6,9	12,7	9,8	9,8	2,3	4,7	-	8,4	4,7	-
		2	6,9	4,1	4,1	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	9,8	7,1	4,7	-	8,4	2,3	-
		3	6,9	4,1	4,1	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	9,8	5,9	3,3	-	7,1	4,7	-
	c/	1	12,7	8,4	6,9	18,6	9,8	9,8	18,6	12,7	9,8	8,4	4,7	-	7,1	4,7	-
		2	12,7	9,8	6,9	15,6	9,8	9,8	21,5	12,7	9,8	7,1	3,3	-	7,1	3,3	-
		3	12,7	9,8	6,9	18,6	9,8	9,8	18,6	12,7	9,8	5,9	5,9	-	7,1	3,3	-
São Paulo	s/	1	4,1	4,1	4,1	9,8	9,8	6,9	12,7	9,8	9,8	2,3	4,7	-	8,4	4,7	-
		2	4,1	4,1	4,1	9,8	9,8	6,9	12,7	9,8	9,8	3,3	3,3	-	8,4	3,3	-
		3	4,1	4,1	4,1	9,8	9,8	6,9	12,7	12,7	9,8	4,7	3,3	-	7,1	4,7	-
	c/	1	9,8	9,8	6,9	24,5	15,6	9,8	30,7	21,5	12,7	2,3	3,3	-	2,3	5,9	-
		2	12,7	9,8	6,9	24,5	15,6	9,8	27,6	18,6	12,7	2,3	3,3	-	2,3	3,3	-
		3	9,8	9,8	6,9	24,5	12,7	9,8	33,6	21,5	12,7	3,3	5,9	-	4,7	4,7	-

(1) Ausência (s/) e presença (c/) de colagem, conforme recomendações.

(2) Amostras de terras colhidas após a incubação (A), após o primeiro cultivo (B) e após o segundo cultivo (C).

(3) Não determinado.

Tabela 5.1 - Efeitos da incubação aberta e da calagem na mineralização do enxofre dos solos ($S-SO_4^{=}$) em condições de micro-colunas, submetidas à lixiviação periódica.

Solo (Local)	R E P E T	$S-SO_4^{=}$ (ppm)													
		0 ⁽¹⁾		14		28		56		70		84		112	
		s/ ⁽²⁾	c/ ⁽²⁾	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/
São Pedro/SP	1	9,1	12,8	20,6	22,0	6,7	7,9	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	2	12,8	11,6	9,3	23,3	6,7	6,7	2,1	2,1	2,1	0,9	2,1	2,1	2,1	2,1
	3	11,6	10,3	16,6	22,0	6,7	7,9	0,9	2,1	0,9	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Assis/SP	1	12,8	11,6	19,3	17,9	6,7	4,4	2,1	2,1	2,1	2,1	0,9	2,1	3,2	2,1
	2	9,1	12,8	16,6	19,3	5,5	6,7	2,1	2,1	2,1	2,1	0,9	2,1	2,1	2,1
	3	7,9	10,3	19,3	15,3	6,7	7,9	2,1	2,1	2,1	3,2	0,9	2,1	3,2	3,4
Piraçu- nunga-1	1	12,8	16,6	9,1	14,1	2,1	3,8	2,1	2,1	0,5	2,1	3,2	3,2	3,2	4,4
	2	15,3	14,1	10,3	15,3	3,2	5,5	2,1	2,1	0,9	3,2	2,1	2,1	0,9	4,4
	3	14,1	11,6	7,9	14,1	5,5	4,4	2,1	2,1	2,1	3,2	3,2	3,2	3,2	4,4
Matão	1	15,3	16,6	14,1	16,6	4,4	6,7	2,1	2,1	3,2	2,1	2,1	0,9	3,2	2,1
	2	16,6	16,6	12,8	15,3	6,7	6,7	3,2	3,2	2,1	2,1	2,1	0,9	4,4	0,9
	3	14,1	16,6	12,8	14,1	7,9	5,5	3,2	2,1	0,9	2,1	3,2	0,9	3,2	2,1
Catalão	1	10,3	23,3	5,5	19,3	4,4	6,7	3,2	6,7	2,1	2,1	2,1	2,1	3,2	2,1
	2	12,8	20,6	5,5	20,6	5,5	6,7	3,2	5,5	2,1	2,1	2,1	3,2	2,1	2,1
	3	9,1	24,7	3,2	17,9	3,2	9,1	2,1	6,7	0,9	2,1	2,1	2,1	2,1	0,9
S.S. do Paraíso-2	1	15,3	22,0	9,1	11,6	5,5	10,3	3,2	4,4	0,9	0,9	0,9	3,2	2,1	3,1
	2	16,6	20,6	10,3	10,3	10,3	11,6	3,2	4,4	2,1	0,9	2,1	4,4	3,2	4,4
	3	17,9	22,0	11,6	9,1	5,7	7,9	3,2	4,4	2,1	0,9	2,1	4,4	3,2	3,2
Rio Para- naíba	1	14,1	22,0	6,7	16,6	6,7	10,3	3,2	4,4	0,9	4,4	0,9	3,2	0,9	2,1
	2	14,1	22,0	7,9	16,6	6,7	10,3	2,1	5,5	2,1	4,4	2,1	4,4	0,9	3,2
	3	14,1	17,9	6,7	16,6	5,5	10,3	2,1	5,5	2,1	4,4	2,1	4,4	0,9	3,2

(1) Tempo de lixiviação (intervalo de 14 dias).

(2) s/ - sem calagem e c/ - com calagem, conforme recomendações.

Tabela 5.2 - Efeitos da incubação aberta e da calagem na mineralização do nitrogênio dos solos (NH_4^+ + NO_3^-) em condições de microcolunas, submetidas à lixiviação periódica.

Solo (Local)	R E P E T	N(NH_4^+ + NO_3^-) - ppm													
		0 ⁽¹⁾		14		28		56		70		84		112	
		s/(2)	c/(2)	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/
São Pedro/SP	1	55,2	60,8	13,4	11,3	7,3	8,4	5,7	4,8	2,4	2,7	3,1	2,4	3,5	3,3
	2	49,8	47,8	11,0	12,6	10,0	9,3	5,2	6,5	2,6	3,8	2,3	3,2	3,2	3,3
	3	58,7	50,1	12,3	12,6	8,3	7,4	5,7	5,2	2,7	2,4	3,2	2,7	3,0	3,7
Assis	1	29,9	24,7	7,0	11,3	4,1	6,6	4,1	3,3	3,5	2,8	2,8	2,8	3,2	2,8
	2	26,0	24,7	6,3	14,8	3,1	7,0	2,7	4,9	3,1	2,7	2,9	2,5	2,9	2,7
	3	25,9	27,7	6,3	17,8	4,7	11,0	4,2	4,9	3,2	2,9	2,9	2,7	3,1	2,5
Piraçu- nunga-1	1	12,9	6,9	22,1	22,4	6,9	4,9	6,9	3,8	4,5	2,9	4,5	2,9	4,0	2,9
	2	10,9	10,7	21,7	22,5	5,8	5,0	4,9	3,4	2,7	2,8	2,7	2,3	2,1	2,3
	3	12,2	12,7	22,6	22,3	8,2	5,5	6,4	3,7	4,0	3,6	3,7	2,7	2,9	4,9
Matão	1	10,1	10,0	6,8	12,0	3,4	3,5	3,4	3,0	2,4	2,9	2,7	2,7	2,2	2,0
	2	10,7	12,4	7,7	10,6	3,5	3,0	3,5	2,9	2,6	2,9	2,1	2,0	2,0	1,7
	3	10,3	12,7	5,5	8,3	4,7	3,5	3,2	2,6	2,2	2,1	2,5	2,8	2,0	2,8
Catalão	1	58,1	87,4	39,7	40,8	15,9	18,0	13,4	11,3	7,9	7,7	5,7	7,1	4,6	5,3
	2	75,1	78,2	42,0	41,6	19,5	16,3	11,0	9,7	8,4	8,2	5,8	7,0	4,8	9,5
	3	83,7	105,5	34,8	44,2	16,1	16,2	8,9	10,3	6,6	7,6	4,9	7,0	3,7	6,3
S.S. do Paraíso-2	1	14,7	15,5	15,5	27,1	12,2	13,7	6,4	6,2	2,9	3,5	4,0	3,8	2,2	6,1
	2	14,2	17,2	16,7	34,5	12,5	16,3	6,6	9,3	4,6	7,3	4,9	5,9	2,8	5,8
	3	15,2	16,7	18,8	31,3	12,4	13,0	5,7	6,4	3,9	4,1	3,2	3,2	2,9	3,6
Rio Para- naíba	1	14,8	16,2	30,0	36,1	19,9	23,0	12,9	23,3	6,5	8,8	5,8	7,1	6,4	6,8
	2	18,1	17,4	31,4	36,5	24,9	22,9	14,0	22,8	7,2	15,3	4,5	10,2	4,3	8,3
	3	18,8	16,5	36,1	43,3	24,0	22,9	14,2	21,8	7,9	11,6	4,4	7,4	4,8	9,1

(1) Tempo de lixiviação (intervalo de 14 dias).

(2) s/ - sem calagem e c/ - com calagem, conforme recomendações.

Tabela 6.1 - Valores de cpm (0,1 ml (corrigidos para o tempo "zero" nos lixiviados em KCl 0,01M sob condições de incubação aberta, na ausência e presença de calagem.

Solo	E P E T	cpm x 1000/1 ml de lixiviado											
		0(1)		14		28		56		70		84	
		s/(2)	c/(2)	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/
São Pedro	1	170,7	118,8	50,3	20,0	4,4	3,8	1,4	1,0	0,6	1,2	0,9	0,9
	2	150,1	154,5	36,5	21,4	4,2	6,9	0,8	1,1	0,5	0,9	0,7	0,6
	3	167,3	133,3	16,9	18,9	6,9	6,2	1,3	0,9	0,6	0,6	1,3	0,4
Assis	1	105,3	65,9	40,3	76,4	5,7	11,9	1,4	4,8	0,5	3,5	0,6	3,6
	2	184,7	103,1	58,4	61,4	5,0	12,1	1,7	4,1	1,1	4,7	1,0	4,0
	3	135,3	180,3	67,5	54,6	5,8	22,5	1,4	2,6	1,1	1,8	1,3	1,4
Piraçununga	1	23,0	157,3	12,4	7,9	4,8	2,4	3,3	1,2	4,4	0,9	9,2	1,2
	2	32,8	138,5	11,1	15,2	6,2	2,9	2,4	1,4	3,3	0,9	4,2	0,5
	3	44,7	180,3	27,7	12,1	7,4	1,5	6,1	1,4	2,5	0,9	8,6	0,5
Matão	1	105,0	168,4	8,1	9,4	7,5	1,1	1,2	1,1	0,8	0,3	0,8	0,3
	2	120,7	171,2	6,8	9,0	5,2	4,4	1,0	1,0	0,4	0,7	0,3	0,4
	3	116,8	166,7	14,8	11,8	3,4	1,4	1,4	1,0	0,7	0,3	0,5	0,3
Catalão	1	10,9	58,6	14,9	14,4	3,5	3,9	7,7	4,9	2,4	4,9	2,8	4,9
	2	15,6	145,0	17,7	17,8	6,4	5,6	6,4	4,6	5,5	4,2	4,4	4,7
	3	16,5	157,4	21,5	21,0	9,1	8,5	2,2	2,6	6,2	9,2	3,2	7,7
S.S. Paraíso-2	1	56,3	164,5	19,8	24,3	6,0	8,4	2,9	1,0	2,3	1,0	1,2	0,7
	2	72,7	135,0	19,6	21,6	7,3	7,9	2,7	2,3	4,1	0,5	1,8	0,4
	3	78,0	100,1	17,7	24,6	3,6	10,5	2,4	2,1	2,3	3,6	2,1	0,4
Rio Paraí- naíba	1	26,7	84,0	11,4	49,8	3,5	18,5	5,5	5,8	3,5	6,4	3,5	3,5
	2	33,0	80,4	18,3	38,1	7,9	18,5	3,8	7,1	3,5	5,8	4,9	4,9
	3	28,7	106,7	11,1	40,5	2,9	13,1	3,7	5,1	3,0	5,8	5,5	3,2

(1) Tempo de lixiviação (intervalo de 14 dias).

(2) s/ - sem calagem e c/ - com calagem, conforme recomendações.

Tabela 6.2 - Valores de atividade específica de ^{35}S nos lixiviados em KCl 0,01M sob condições de incubação aberta, na ausência e presença de calagem.

Solo (Local)	R E P E T	Atividade específica de ^{35}S - cpm x 1000/ $\mu\text{g S-SO}_4^m$											
		0 ⁽¹⁾		14		28		56		70		84	
		s/ ⁽²⁾	c/ ⁽²⁾	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/	s/	c/
São Pedro	1	187,6	92,8	24,4	9,1	6,6	4,8	6,2	4,6	2,8	5,5	4,6	4,5
	2	122,7	133,2	18,9	9,2	6,3	10,2	9,0	5,1	2,3	10,3	3,1	2,7
	3	144,5	129,4	10,2	8,5	10,3	7,8	6,1	4,3	6,2	2,9	6,2	1,8
Assis	1	82,3	56,9	20,9	39,6	8,5	27,1	6,5	22,9	2,3	16,6	6,2	17,4
	2	203,0	80,5	30,3	37,0	9,0	25,5	8,2	19,9	5,5	22,6	11,0	19,1
	3	171,3	91,1	40,7	35,7	8,6	28,5	6,2	12,6	5,1	5,5	14,9	6,8
Piraçununga	1	18,0	117,7	13,6	5,6	23,1	5,4	15,8	5,9	21,1	4,2	28,8	3,9
	2	23,3	119,4	10,7	10,8	19,4	5,3	13,0	6,7	15,7	2,8	20,8	2,2
	3	29,2	108,6	26,9	11,2	13,5	3,9	29,1	6,8	12,1	2,7	26,9	1,6
Matão	1	68,7	101,4	6,3	6,1	9,5	2,0	5,8	5,4	2,5	1,4	3,6	3,2
	2	72,7	94,6	5,3	6,3	7,7	6,6	3,1	3,2	1,8	3,2	1,7	4,0
	3	82,8	100,4	10,5	6,2	7,8	2,6	4,4	4,9	3,5	1,5	1,5	3,4
Catalão	1	10,6	68,1	46,6	14,3	10,9	5,2	24,0	7,3	11,6	23,5	13,5	23,3
	2	17,1	70,4	32,2	17,8	20,1	8,4	20,2	8,4	26,8	20,2	21,0	14,7
	3	12,9	63,7	38,5	21,0	16,6	9,4	34,4	3,9	29,7	43,9	15,5	36,7
S.S. Paraíso-2	1	36,8	74,8	21,7	22,3	9,0	8,2	9,2	2,4	11,1	2,3	13,0	7,9
	2	43,8	61,3	19,1	21,0	7,1	9,9	8,5	5,2	9,8	1,1	8,5	4,2
	3	43,6	48,6	15,3	21,2	6,5	9,0	7,4	4,8	11,0	8,2	10,2	4,1
Rio Paranaíba	1	19,0	38,2	17,0	30,0	5,3	18,0	17,2	13,3	16,6	14,5	37,1	10,9
	2	23,4	36,5	23,0	23,0	11,9	17,9	18,3	13,0	16,9	13,4	23,4	11,2
	3	20,3	59,6	16,6	24,4	5,2	12,7	18,6	9,3	14,2	13,2	16,4	7,2

(1) Tempo de lixiviação (intervalo de 14 dias).

(2) s/ - sem calagem e c/ - com calagem, conforme recomendações.