

AVALIAÇÃO DO ENXOFRE DISPONÍVEL EM SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ

Trigação de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se a disposição dos interessados na Biblioteca Central desta Universidade.

Citação de qualquer trecho desta Tese é permitida desde que seja feita de conformidade com as normas de ética científica.

C473855

SANDRA CATIA PEREIRA UCHÔA

BGT/UFC CATIVO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

SAU

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/09/91

Prof. FERNANDO FELIPE FERREYRA HERNANDES  
Orientador

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

T  
631.4  
U19a  
1991

FORTALEZA - 1991

UFC/BU/BCT 04/01/1999



R915475  
C473855  
T631.4

Avaliação do enxofre disponível em solos

U19a

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se a disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Tese é permitida desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

*Sandra catia Pereira Uchôa*

Sandra Catia Pereira Uchôa

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 18 / 09 / 91

*Fernando Felipe*

Prof. FERNANDO FELIPE FERREYRA HERNANDEZ, Doutor

Orientador

*Boanerges Freire de Aquino*

Prof. BOANERGES FREIRE DE AQUINO, Ph.D.

Prof. JOSÉ JACKSON LIMA ALBUQUERQUE, MSc.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela a força e conforto nos momentos de angústia e desilusão, que me impulsionou a ir sempre adiante.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo incentivo financeiro.

Ao Professor Fernando Felipe Ferraz Hernandez pelo apoio e orientação.

Aos professores Boanerges Freire de Aquino e José Jackson Lima Albuquerque, pelas sugestões e críticas apresentadas.

Aos colegas de curso, pela amizade e convívio durante esses anos.

A Ana Lucia, Góes d'Assumpção pela amizade e incentivo nos momentos de insegurança.

Aos amigos funcionários da FUNCEHC, especialmente Inácia e Margaretha, pela colaboração.

Aos colegas Ivan, Omar e Aline, pela análise estatística e edição deste trabalho.

A todos os funcionários do Solo, especialmente ao Sr. Polibio pela compreensão e ajuda durante esses anos. Fátima pela simpatia e presença constante. D E D I C O.

## AGRADECIMENTOS

LISTA DE A Deus, pela a força e conforto nos momentos de angústia e desilusão, que me impulsionou a ir sempre adiante. QUADROS .....ix

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo incentivo financeiro. ....xi

Ao Professor Fernando Felipe Ferreyra Hernandez pelo apoio e orientação. ....xiii

Aos professores Boanerges Freire de Aquino e José Jackson Lima Albuquerque, pelas sugestões e críticas apresentadas. LITERATURA .....xv

2.1 - Aos colegas de curso, pela amizade e convívio durante esses anos. ....xvii

2.1.2 - A Ana Lúcia Góes d'Assumpção pela amizade e incentivo nos momentos de insegurança. ....xviii

2.2 - Os amigos funcionários da FUNCEME, especialmente Inácia e Margareth, pela colaboração e carinho. ....xix

2.2.2 - Aos colegas Ivan, Omar e Eunice pela ajuda durante a análise estatística e edição deste trabalho. de 8 no solo. 19

2.4 - De A todos os funcionários do Departamento de Ciências do Solo, especialmente ao Sr. Antônio Luis, Sayonara e Fátima pela simpatia e presença constante. ....xxv

3.1 - Seleção e coleta dos solos .....xxvii

|   |      |
|---|------|
| 3.2 - Localização e classificação dos solos .....                       | 38   |
| 3.3 - Caracterização física e química dos solos .....                   | 42   |
| 3.4 - Procedimento experimental <b>SUMÁRIO</b> .....                    | 43   |
| 3.4.1 - Tratamento .....  | 43   |
| 3.4.2 - Planta indicadora .....   | 46   |
| LISTA DE FIGURAS .....  | vii  |
| 3.5 - Parâmetros avaliados .....  | 50   |
| LISTA DE QUADROS .....  | ix   |
| 3.5.2 - Na planta .....   | 51   |
| RESUMO .....  | xi   |
| 3.5.4 - Relações N/S e P/S .....  | 53   |
| ABSTRACT .....  | xiii |
| 4 - <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                                 | 54   |
| 1 - <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | 1    |
| 2 - <b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                                  | 4    |
| 2.1 - <b>Enxofre no solo</b> .....                                      | 4    |
| 2.1.1 - Enxofre total .....   | 4    |
| 2.1.2 - Formas inorgânicas .....  | 6    |
| 2.1.3 - Formas orgânicas .....  | 9    |
| 2.2 - <b>Disponibilidade de S no solo</b> .....                         | 12   |
| 2.2.1 - Adsorção .....  | 12   |
| 2.2.2 - Mineralização da matéria orgânica .....                         | 15   |
| 2.3 - <b>Índices de avaliação da disponibilidade de S no solo</b> ..... | 19   |
| 2.4 - <b>Deficiência de S e níveis críticos</b> .....                   | 28   |
| 2.5 - <b>Enxofre na planta</b> .....                                    | 33   |
| 3 - <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                                     | 37   |
| 3.1 - <b>Seleção e coleta dos solos</b> .....                           | 37   |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2 - <u>Localização e classificação dos solos</u> .....                               | 38  |
| 3.3 - <u>Caracterização física e química dos solos</u> .....                           | 42  |
| 3.4 - <u>Procedimento experimental</u> .....   | 43  |
| 3.4.1 - Tratamento .....   | 43  |
| 3.4.2 - Planta indicadora .....  | 46  |
| 3.4.3 - Instalação e condução do experimento .....                                     | 46  |
| 3.5 - <u>Parâmetros avaliados</u> .....  | 50  |
| 3.5.1 - No solo .....  | 50  |
| 3.5.2 - Na planta .....  | 51  |
| 3.5.3 - Nível crítico de S.....  | 52  |
| 3.5.4 - Relações N/S e P/S.....  | 53  |
| 3.6 - <u>Análise estatística</u> .....   | 53  |
| 4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....  | 54  |
| 4.1 - <u>Enxofre disponível</u> .....  | 54  |
| 4.1.1 - Extratores .....   | 54  |
| 4.1.2 - Relação entre o teor de enxofre disponível e caracte-<br>rísticas do solo..... | 57  |
| 4.2 - <u>Resposta das plantas à adição de S</u> .....                                  | 60  |
| 4.2.1 - Rendimento de matéria seca .....   | 60  |
| 4.2.2 - Nível crítico .....  | 64  |
| 4.2.3 - Absorção e teor de S.....  | 69  |
| 4.2.4 - Enxofre disponível versus produção de matéria seca<br>e S na planta .....      | 74  |
| 4.2.5 - Relação N/S e P/S nas plantas.....   | 77  |
| 5 - <u>CONCLUSÕES</u> .....  | 83  |
| 6 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....  | 84  |
| 7.0 - <u>APÊNDICES</u> .....   | 101 |

|   |  |    |
|---|--|----|
| 6 | Correlação do S disponível extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e $\text{NH}_4\text{OAc}$ ..... | 76 |
| 7 | Nível crítico de S no tecido da planta, 1º e 2º corte do tratamento sem S...                                 | 79 |

LISTA DE FIGURAS

| Figuras |   | Página |
|---------|---|--------|
| 1       | Estado do Ceará: Zonas Fisiográficas e indicação aproximada dos locais de exames de perfís e coleta de amostras de solos..... | 39     |
| 2       | Nível crítico de S disponível obtido com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , no primeiro corte do sorgo forrageiro .....   | 65     |
| 3       | Nível crítico de S disponível obtido com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , no primeiro corte do sorgo forrageiro.....    | 66     |
| 4       | Nível crítico de S disponível obtido com $\text{NH}_4\text{OAc}$ , no primeiro corte do sorgo forrageiro.....                 | 67     |
| 5       | Nível crítico de S disponível obtido com $\text{NH}_4\text{OAc}$ , no segundo corte do sorgo forrageiro....                   | 68     |
| 6       | Nível crítico do teor de S na planta, primeiro corte do sorgo forrageiro, do tratamento sem enxofre.....                      | 72     |
| 7       | Nível crítico do teor de S na planta, segundo corte do sorgo forrageiro, do tratamento sem S.....                             | 73     |

|   |  |    |
|---|--|----|
| 8 | Correlação do S disponível extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e $\text{NH}_4\text{OAc}$ ..... | 76 |
| 9 | Nível crítico da relação N/S no tecido da planta, 1º e 2º corte do tratamento sem S...                       | 79 |

| Quadros |   | Página |
|---------|---|--------|
| 1       | Classificação, localização e uso atual dos solos.....   | 40     |
| 2       | Características físicas dos solos estudados.....  | 44     |
| 3       | Características químicas das 23 unidades de solos estudados.....  | 45     |
| 4       | Macronutrientes, seus fertilizantes e doses aplicadas.....  | 48     |
| 5       | Reagentes e quantidades empregadas na solução de micronutrientes.....   | 49     |
| 6       | Teor de enxofre disponível determinado pelos extratores $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e $\text{NH}_4\text{OAc}$ nos 23 solos estudados, antes e depois do 1º corte.....              | 50     |
| 7       | Coefficiente de correlação e equação de regressão linear do S disponível (Y) por dois extratores, monofosfato de cálcio (MC) e acetato de amônio (AA) com algumas propriedades do solo..... | 57     |
| 8       | Rendimento de matéria seca, teor de S no tecido e quantidade de S absorvido por plantas.....  | 67     |



de sorgo forrageiro em 23 solos do Estado do Ceará..... 62

9 LISTA DE QUADROS de produção apresentados por plantas de sorgo forrageiro cultivados em 23 solos do Estado do Ceará... 63

| Quadros | Coeficiente de correlação linear do S disponível extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e $\text{NH}_4\text{OAc}$ , com   | Página |
|---------|--|--------|
| 1       | Classificação, localização e uso atual dos solos.....  | 40     |
| 2       | Características físicas dos solos estudados .....  | 44     |
| 3       | Características químicas das 23 unidades de solos estudadas.....   | 45     |
| 4       | Macronutrientes, seus fertilizantes e doses aplicadas.....   | 48     |
| 5       | Reagentes e quantidades empregadas na solução de micronutrientes.....  | 49     |
| 6       | Teor de enxofre disponível determinado pelos extratores $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e $\text{NH}_4\text{OAc}$ nos 23 solos estudados, antes e depois do 1º corte.....             | 55     |
| 7       | Coeficiente de correlação e equação de regressão linear do S disponível (Y) por dois extratores, monofosfato de cálcio (MC) e acetato de amônio (AA) com algumas propriedades do solo..... | 59     |
| 8       | Rendimento de matéria seca, teor de S no tecido e quantidade de S absorvido por plantas  |        |

|    |   |    |
|----|---|----|
|    | de sorgo forrageiro em 23 solos do Estado do Ceará.....   | 62 |
| 9  | Produção relativa e incremento de produção apresentados por plantas de sorgo forrageiro cultivados em 23 solos do Estado do Ceará...  | 63 |
| 10 | Coeficiente de correlação linear do S disponível extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e $\text{NH}_4\text{OAc}$ , com S absorvido pelas plantas e incremento de produção.....        | 75 |
| 11 | Teores de N e relação N/S das plantas de sorgo forrageiro, nos dois cortes e para os tratamentos sem enxofre ( $\text{S}_0$ ) e com enxofre ( $\text{S}_1$ ), cultivadas nos solos estudados..... | 78 |
| 12 | Teores de P e relação P/S das plantas de sorgo forrageiro, nos dois cortes e para os tratamentos sem enxofre ( $\text{S}_0$ ) e com enxofre ( $\text{S}_1$ ), cultivadas nos solos estudados..... | 82 |

tores estabeleceu-se o nível crítico, de 8 no solo, de 2,2 ppm.

## RESUMO

Em amostras superficiais de vinte três solos representativos do Estado do Ceará, foi determinado o enxofre disponível, por dois extratores químicos e conduzido ensaio em casa de vegetação, visando comparar a eficiência dos extratores e estabelecer níveis críticos. Os extratores usados foram solução de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e  $\text{NH}_4\text{OAc}$  em  $\text{HOAc}$ . No ensaio em casa de vegetação utilizou-se, como planta indicadora, o sorgo forrageiro (*Sorghum vulgari* Pers.), em dois cultivos sucessivos. Os vinte três solos receberam dois níveis de adubação de S (0 e 50 ppm), segundo um delineamento experimental inteiramente casualizado, para os tratamentos em disposição fatorial ( $23 \times 2$ ), com três repetições. No primeiro cultivo, houve resposta significativa para a produção da matéria seca, em sete dos vinte três solos, enquanto que no segundo cultivo, todos responderam significativamente. O monofosfato de cálcio apresentou maior poder de extração de S disponível, que o acetato de amônio, no entanto, os teores de S obtido por ambos, apresentou correlação linear simples, altamente significativa ( $R^2 = 0,90$ ). O enxofre extraído com o monofosfato de cálcio apresentou melhores correlações com o incremento de produção e com o S absorvido pelas plantas, sugerindo ser o extrator mais indicado na avaliação do S disponível. Com ambos extra-

tores estabeleceu-se o nível crítico, de S no solo, de 2,2 ppm.

#### ABSTRACT

In order to establish critical levels of soil sulfur and compare sulfur chemical extractors efficiencies, the available soil sulfur was determined in 23 representative soils of Ceará state, Brazil. Solutions of  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  and  $\text{NH}_4\text{OAc}$  in  $\text{HOAc}$  were used as chemical extractors. Sorghum crops (*Sorghum vulgares* Pers.), was used as plant test in two successive pot croppings, with two S levels (0 and 50 ppm). The experiment design was completely randomized with three replications, in a  $23 \times 2$  factorial arrangement. The dry matter production was statistically significant on seven out of twenty three soils at the first cropping, while on the second the significance was observed for all of the tested soils. The calcium monophosphate was better to extract available sulphur than ammonia acetate, but the amount of S determined by both showed up a simple linear correlation highly significant ( $R^2 = 0,81$ ). The amount of soil sulphur extracted by the calcium monophosphate presented the best correlations with both increment of production and S absorbed by plants, indicating that this one for evaluation of available soil S. The soil S critical level, determined by both, was 2,2 ppm.

1.0 -- INTRODUÇÃO ABSTRACT

In order to establish critical levels of soil sulfur and compare sulfur chemical extractors efficiencies, the available soil sulfur was determined in 23 representative soils of Ceará state, Brazil. Solutions of  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  and  $\text{NH}_4\text{OAc}$  in HOAc were used as chemical extractores. Sorghum crops (*Sorghum vulgares* Pers.), was used as plant test in two successive pot croppings, with two S levels (0 and 50 ppm). The experiment design was completely randomized with three replications, in a 23 x 2 factorial arrangement. The dry matter Production was statistically significant on seven out of twenty three soils at the first cropping, while on the second the significance was observed for all of the tested soils. The calcium monophosphate was better to extract available sulphur than ammonia acetate, but the amount of S determined by both showed up a simple linear correlation highly significant ( $R^2 = 0,81$ ). The amount of soil sulphur extracted by the calcium monophosphate presented the best correlations with both increment of production and S absorbed by plants, indicating that this one for evaluation of available soil S. The soil S critical level, determined by both, was 2,2 ppm.

de enxofre do solo, agravando o quadro de deficiência (MALAVOLTA, 1976); c) o uso de defensivos agrícolas a base de sulfonídeos, predispõem os solos, com baixos teores de S, a manifestar sua deficiência (FONTES, 1982); d) a correção dos solos com adubos fosfatados e calcáreos.

1.0 - INTRODUÇÃO

O enxofre é um macronutriente essencial na nutrição das plantas, uma vez que o seu teor no tecido vegetal ocorre em proporções consideráveis e pelas funções que desempenha no metabolismo vegetal. Este elemento participa da estrutura de moléculas protéicas, na síntese da nitrato redutase, além de ser constituinte dos aminoácidos essenciais, cisteína e metionina. repetidas queimadas conduzem a perdas de até 75% do

enxofre. No que concerne os macronutrientes a disponibilidade do S no solo tem sido pouco estudada, relativamente a outros elementos. Até a década de 1960, o S era relegado a segundo plano nos programas de fertilidade, ocorrendo esse fato até mesmo nos países desenvolvidos (WOLFFENBUTTEL & TEDESCO, 1981). A partir desta década a situação vem se modificando, pois têm-se observado com mais frequência deficiência de S em plantas, principalmente em países tropicais, incluindo o Brasil (BLAIR 1979). desta, havendo a necessidade de estudos que

visem a Várias são as causas que vem concorrendo para a deficiência de enxofre nos solos, entre elas: a) exploração de novas áreas agrícolas, com reserva aparentemente pequena deste elemento; b) uso de adubos concentrados, sem quantidades adequadas deste nutriente. Esses adubos concentrados propiciam maiores produções e, conseqüentemente, maiores extrações

de enxofre do solo, agravando o quadro de deficiência (MALAVOLTA, 1976); c) o uso de defensivos agrícolas a base de matérias primas organossintéticas, predispõem os solos, com baixos teores de S, a manifestar sua deficiência (FONTES, 1982); d) a correção dos solos com adubos fosfatados e calcáreos em doses elevadas concorrendo para a perda por lixiviação do sulfato existente nos horizontes superficiais; e) a remoção de maiores quantidades de nutrientes, pela utilização mais intensa do solo, com emprego de variedades altamente produtivas e outras técnicas modernas que concorrem para o aumento da produtividade (WOLFFENBUTTEL & TEDESCO, 1981); f) repetidas queimadas conduzem a perdas de até 75% do enxofre, contido na matéria seca das gramíneas, por volatilização. Isto aliado ao fato de que o enxofre nas cinzas é mais susceptível a perdas por lixiviação (MACCLUNG & FREITAS, 1959); e g) adubações pesadas com nitrogênio e fósforo, caracterizando a chamada "deficiência induzida" (HOMES, 1966).

Apesar da importância do enxofre para as plantas, as informações a respeito desse elemento são escassas, principalmente no Nordeste, havendo a necessidade de estudos que visem dar maiores informações a respeito de sua disponibilidade, assim como a sua relação com as características do solo, principalmente nas áreas cultivadas.

O presente trabalho conduzido em laboratório e casa de vegetação, usando o sorgo forrageiro (*Sorghum vulgari Pers.*) como planta indicadora, teve como objetivos:

a) Avaliar o fosfato de cálcio e o acetato de amônio como extratores do S disponível em solos representativos do Estado do Ceará.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

b) Estabelecer correlações entre o S disponível e propriedades dos solo.

c) Determinar níveis críticos de S disponível do solo e do teor de S nas plantas. De plantas altamente produtivas, visando suprir a demanda por alimento de uma população que cresce em ritmo acentuado, ocasionaram perdas constantes de enxofre do solo, contribuindo para o aparecimento de deficiências de S em solos do Brasil e do mundo. Não se pode mais negar o papel deste elemento na planta e nem tão pouco deixá-lo de lado nos programas de fertilidade (MELLO et alii, 1985).

### 2.1 - Enxofre no solo

#### 2.1.1 - Enxofre total

A litosfera contém cerca de 0,66% de enxofre. Durante o processo de intemperismo parte do S das piritas e outros sulfetos estáveis são transformados em sulfatos e dessa forma acumulados ou perdidos por lixiviação (JORDAN & ENSMINGER, 1958). O sulfato acumulado, é por sua vez transformado em composto orgânico pelos microrganismos do solo, plantas e



animais. Quando os resíduos vegetais retornam ao solo são atacados por microrganismos, e parte do S volta a formar sulfato, enquanto 2 - REVISÃO DE LITERATURA uma parte do húmus do solo (VITTI, 1989).

O teor de S total nos solos pode variar de 0,2% a 3,5% (BIELO uso acentuado de adubos concentrados em solos de baixa fertilidade e de variedades de plantas altamente produtivas, visando suprir a demanda por alimento de uma população que cresce em ritmo acentuado, ocasionaram perdas constantes de enxofre do solo, contribuindo para o aparecimento de deficiências de S em solos do Brasil e do mundo. Não se pode mais negar o papel deste elemento na planta e nem tão pouco deixá-lo de lado nos programas de fertilidade (MELLO et alii, 1985). precipitação e em solos de clima temperado onde a taxa de mineralização da matéria orgânica é mais lenta em de-

2.1 - Enxofre no solo

Em amostras representativas de solos dos Estados de

2.1.1 - Enxofre total NEPTUNE et alii (1975) encontraram valores de 43 a 390 ppm de S total. NASCIMENTO & MORELLI (1980a), em dezesseis amostras superficiais de solos do Rio Grande do Sul, obt

A litosfera contém cerca de 0,06% de enxofre. Durante o processo de intemperismo parte do S das pirritas e outros sulfetos metálicos são transformados em sulfatos e dessa forma acumulados ou perdidos por lixiviação (JORDAN & ENSMINGER, 1958). O sulfato acumulado, é por sua vez transformado em composto orgânico pelos microrganismos do solo, plantas e

animais. Quando os resíduos vegetais retornam ao solo são atacados por microrganismos, e parte do S volta a forma de sulfato, entretanto a maioria permanece como parte do húmus do solo (VITTI, 1989). solos de Minnesota variou de 131 a 949 ppm, com o teor de S total nos solos pode variar de 0,002 a 3,5% (BIEDERBECK, 1978). Geralmente os solos de regiões tropicais apresentam menores teores de S total, devido a maior mineralização e intemperismo, que determinam maiores perdas (BLAIR, 1979). De acordo com KAMPRATH & TILL (1983) suas quantidades, nos horizontes superficiais dos solos destas regiões, estão abaixo de 250 ppm, sendo que a maior parte apresentam-se na forma orgânica. Já os teores mais elevados são observados em solos alcalinos, principalmente em regiões de baixa precipitação e em solos de clima temperado onde a taxa de mineralização da matéria orgânica é mais lenta em decorrência da menor atividade microbiana à baixas temperaturas.

Em amostras representativas de solos dos Estados de São Paulo e Paraná, NEPTUNE et alii (1975) encontraram valores de 43 a 398 ppm de S total. NASCIMENTO & MORELLI (1980a), em dezesseis amostras superficiais de solos do Rio Grande do Sul, obtiveram um teor médio de S total de 235 ppm, variando de 38 ppm no solo Cruz Alta (Latosolo Vermelho Escuro) a 409 ppm no solo Escobar (Vertissolo). BISSANI (1985), em revisão, cita os trabalhos de Wang et alii e Dantas Leite, que encontraram uma variação para o S total de 34 a 139 ppm para os solos da Amazônia e de 120 a 285 ppm para os solos de Pernam-

buco, respectivamente. descrições possam ser um tanto arbitrárias. NE Avaliando a capacidade de suprimento de enxofre dos solos dos Estados Unidos, REHN & CALDWELL (1968), observaram que o S total para os solos de Minnesota variou de 131 a 940 ppm, com média de 501 ppm. TABATABAI & BREMNER (1972) em solos representativos do Estado de Iowa (EUA), observaram conteúdos que variaram de 56 a 618 ppm, com média de 294 ppm. DAVID et alii (1982) em solos de florestas, de Nova Iorque, verificaram que a maior concentração de S total ocorre nos horizontes orgânicos e obteve valores médios de 2010 e 1690 ugS/g de solo. Nos solos minerais o S total foi maior no B<sub>21b</sub> (média de 540 ppm) e menor nos horizontes A<sub>2</sub> (média de 68 ppm).

#### 2.1.2 - Formas inorgânicas

De acordo com FREIRE et alii (1974), o enxofre no solo aparece na forma orgânica insolúvel, sulfatos solúveis e insolúveis, havendo geralmente predominância da forma orgânica. SMINTTENBER et alii (1951), estudando alguns métodos rápidos para determinar diferentes tipos de compostos sulfúricos no solo, concluíram ser possível distinguir pelo menos cinco tipos: sulfetos (principalmente o sulfeto de ferro), polissulfetos (principalmente a pirita), sulfitos e tiosulfatos, enxofre livre e orgânicamente ligado e sulfa-

tos; embora algumas descrições possam ser um tanto arbitrárias. NEPTUNE et alii (1975), analisando as diversas formas inorgânicas de S verificaram que o enxofre inorgânico nos solos do Brasil, ocorrem principalmente como sulfato, nenhum sulfeto ou outra forma foi detectada nos solos estudados.

O movimento, as reações e a absorção de S pelas plantas ocorrem predominantemente como sulfato. No solo, os sulfatos podem-se encontrar em solução ou adsorvidos às frações sólidas. Sob boas condições de aeração, as formas reduzidas ( $SO_2$ , sulfitos, tiosulfatos e enxofre elementar) são facilmente oxidados a sulfato. Para as plantas esta forma é a mais importante e está sujeita à grandes variações no solo, em virtude das perdas por lixiviação (HAWARD & REISENAUER, 1966; FREIRE et alii, 1974). TABATABAI & BREMNER (1972a), salienta que o enxofre inorgânico ocorre em proporções mais elevadas nas zonas tropicais, relativamente as zonas temperadas ou de clima úmido. Isto deve-se provavelmente, a menor capacidade de adsorção do S inorgânico destes últimos solos. Com isso o enxofre mineralizado, quando não utilizado pelas plantas ou microrganismos, é perdido para as camadas sub-superficiais. Assim, o enxofre inorgânico constitui pequena fração do S total.

O sulfato resultante da mineralização da matéria orgânica pode ser lixiviado dos solos, absorvido pelas plantas, adsorvido aos colóides do solo ou convertido a S orgânico. DAVID et alii (1982), estudando o efeito da secagem do solo na disponibilidade de sulfatos, verificaram que houve

um aumento de até três vezes no teor de sulfato em horizontes orgânicos após terem sido submetidos a secagem, enquanto que em alguns horizontes minerais diminuiu. Estes autores atribuíram a sua diminuição nos horizontes minerais a possíveis cristalizações dos sesquióxidos de Fe no horizonte B que causam a retenção do sulfato tornando-o não extraível.

Em regiões de clima árido, o sulfato pode ser acumulado em grandes quantidades na forma de sais, tais como:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  e  $\text{MgSO}_4$ . Sob condições úmidas o sulfato pode se encontrar na solução do solo ou adsorvido aos colóides. O movimento dos sulfatos dentro do solo determina a magnitude de suas perdas nas águas de drenagem. Este movimento é influenciado pela concentração da solução do solo, suas reações com os componentes da fase sólida e a quantidade e velocidade da água dentro do perfil. A magnitude e interação desses fatores, determinam o destino dos sulfatos liberados pela atividade microbiológica ou adicionados ao solo por outras fontes (MENDEL & KIRKBY, 1982).

BISSANI (1983) através da análise de 45 amostras de solos (profundidades 0-20 e 20-40 cm) representativas do Estado do Rio Grande do Sul, mostrou um aumento no teor de sulfatos com a profundidade, sendo as diferenças tanto maiores quanto mais argilosos eram os solos. Concluiu que o sulfato no subsolo pode ser uma importante fonte de reserva para as plantas, desde que as raízes alcancem maiores profundidades, atenuando-se assim possíveis deficiências da camada superficial.

2.1.3 - Formas orgânicas de enxofre nos aminoácidos metionina e cisteína (TABATABAI & BRENNER, 1972b). Entretanto BIEDERBECK (1979) cita que estes aminoácidos são pouco estáveis e não se acumulam. A maior parte do enxofre do solo, em geral mais de 90%, encontra-se em formas orgânicas. Esta fração é geralmente estimada pela diferença entre o S-total e sulfato inorgânico, somente em poucos trabalhos têm-se medido a fração orgânica diretamente. No solo o S orgânico pode ocorrer em três formas distintas: compostos com ligação S-O (ésteres de sulfato), compostos com ligação S-C e S residual (FRENEY, 1961; TABATABAI & BRENNER, 1972; NEPTUNE et alii, 1975; BIEDERBECK, 1978).

O enxofre orgânico que não está diretamente ligado ao carbono, e que é reduzido a  $H_2S$  pelo ácido iodídrico (HI), é denominado de S reduzível (FRENEY, 1961). Consiste principalmente do S na forma de ésteres de sulfato (sulfatos orgânicos contendo ligações C-O-S), e constituem em torno de 50% do S orgânico. Como exemplo de composto deste tipo podem ser citados: sulfato de colina, sulfatos fenólicos, polissacarídeos e lipídios sulforados (FRENEY, 1967; TABATABAI & BRENNER, 1972b). Os ésteres de sulfato (C-O-S) são responsáveis por 20 a 65% do S total em solos do Brasil (VITTI, 1985). NEPTUNE et alii (1975), em estudo de fracionamento em solos do Brasil, verificaram que o S reduzível variou de 36 a 70% do S orgânico, com média de 50%, sendo 40% na forma de ésteres de sulfato (média de 96%). Nos solos do Brasil as percentagens de O S orgânico que está diretamente ligado ao carbono

é encontrado principalmente nos aminoácidos metionina e cisteína (TABATABAI & BREMNER, 1972b). Entretanto BIEDERBECK (1978) cita que estes aminoácidos são pouco estáveis e não se acumulam no solo. Esta fração pode ser obtida através da diferença entre o S-total e o S reduzível (S-O) (BIEDERBECK, 1978) ou ainda pela sua redução a  $H_2S$  pela liga de Raney em meio alcalino (TABATABAI & BREMNER, 1972b). Os valores obtidos pelos dois métodos diferem entre si, sugerindo a existência de outras formas de S orgânico não conhecidas. O enxofre orgânico não identificado pelos métodos analíticos correntes (S residual) varia de 20 a 60% do S-total (NEPTUNE et alii, 1975).

A predominância do S orgânico nos solos é comprovada pelas altas correlações verificadas entre os teores de S-orgânico ou total com o carbono orgânico (NASCIMENTO & MORELLI, 1980a). Segundo FASSBENDER (1975), o teor de S orgânico nos solos varia entre 60 e 90% do S-total, enquanto que TABATABAI & BREMNER (1972) em solos do Estado de Iowa (EUA), observaram que 95 a 98% do enxofre total encontrava-se na forma orgânica.

NEPTUNE et alii (1975) estudando as frações de enxofre em solos do Brasil e de Iowa (EUA), verificaram que o S-orgânico calculado a partir do S-total menos o sulfato inorgânico extraído pelo  $Ca(H_2PO_4)_2$ , nos solos do Brasil variou de 77 a 95% (média de 89%), e nos solos de Iowa variou de 93 a 98% (média de 96%). Nos solos do Brasil as percentagens de S-reduzível variou de 36 a 70% (25 a 65% de ésteres

de sulfato); o S-C variou de 5 a 12% e o S orgânico residual (não identificado) variou de 24 a 59%.

TABATABAI & BREMNER (1972b) analisando 37 amostras da camada superficial e vários perfis de solos representativos do Estado de Iowa (EUA), verificaram que as frações do S-orgânico variaram dentro do perfil, sendo que os ésteres aumentaram e a fração do S ligado a carbono diminuiu com a profundidade. Muito embora a matéria orgânica represente uma fonte potencial de S para as plantas, a sua disponibilidade depende da sua mineralização ou decomposição, que por sua vez é controlada por fatores ambientais (temperatura e umidade), propriedades do solo, presença ou ausência de plantas, tempo e relação C/S do material orgânico (BLAIR, 1971). Segundo BARROW (1967), a fração orgânica mais promissora em termos de índices de disponibilidade para as plantas parece ser a do S-reduzível em HI, principalmente sob condições de pronunciada estação seca devido a "quebra" da ligação éster. BIEDERBECK (1978) menciona que esta fração é a mais lábil, por ser facilmente hidrolizada a sulfato inorgânico. As frações S-C, e principalmente as do S-residual são as mais estáveis, sendo de menor importância para as plantas. Segundo WALKER (1957) a estreita relação comumente encontrada entre o enxofre e o nitrogênio nos solos, onde a relação N/S é mais constante do que para qualquer outro elemento, é indicativo que ambos se mineralizam nas mesmas proporções.



## 2.2 - Disponibilidade de enxofre nos solos

As cargas positivas desenvolvidas nos óxidos hidratados de ferro e alumínio e nos minerais de argila a baixos valores de pH (HOWARD & REISNAUER, BETTANY et alii (1973) definiram o enxofre disponível como a quantidade do elemento que está pronto para ser absorvido pelas plantas e que pode estar presente como: íon sulfato na solução do solo; S-inorgânico adsorvido às cargas positivas do solo; e fração do S-orgânico que é mineralizada durante o desenvolvimento das culturas. São diversos os fatores que controlam a disponibilidade de enxofre para as plantas entre os quais destacam-se fenômenos de adsorção e a mineralização da matéria orgânica.

KANPRATH et alii (1956) pesquisando a adsorção de sulfatos pelos solos, verificaram que: a) solos com maior

### 2.2.1 - Adsorção

a) do tipo 1:1, adsorvem mais sulfatos em relação àqueles que contêm argilas do tipo 2:1; b) a quantidade de sulfatos adsorvido decresce com o aumento do pH; c) os óxidos de Al e Fe. A maioria dos solos tem uma certa capacidade para reter os sulfatos. Segundo REISNAUER (1973) entre os fatores que influenciam nesta retenção encontram-se: a) profundidade do horizonte; b) tipo de argila; c) presença de óxido e hidróxido de Fe e de Al; d) reação do solo e e) concentração do íon no meio. A adsorção de sulfatos ainda pode ser afetada pelo cátion acompanhante (trivalente > divalente > monovalente) e em relação aos outros ânions sua força de retenção segue a ordem: fosfato > sulfato > nitrato = cloreto. Freundlich. O principal mecanismo de adsorção de sulfatos nos

solos tropicais é a troca aniônica, devido às cargas positivas desenvolvidas nos óxidos hidratados de ferro e alumínio e nos minerais de argila a baixos valores de pH (HOWARD & REISENAUER, 1966). Diversas pesquisas indicam que a adsorção de sulfatos aumenta com a profundidade ao longo do perfil, a qual pode estar relacionada com o aumento do teor de argila (BISSANI, 1985), presença de óxidos de alumínio e de ferro nos horizontes mais profundos (ENSMINGER, 1954; KAMPRATH & ZEHLER, 1967) e também devido aos valores do ponto de carga zero (PCZ) do horizonte B serem maiores do que no horizonte A, sugerindo o efeito da matéria orgânica no abaixamento do mesmo. As quantidades de sulfato, o ânion era absorvido pelas plantas. KAMPRATH et alii (1956) pesquisando a adsorção de sulfatos pelos solos, verificaram que: a) solos com maior conteúdo de argila do tipo 1:1, adsorvem mais sulfatos em relação àqueles que contém argilas do tipo 2:1; b) a quantidade de sulfatos adsorvido decrescem com o aumento do pH; c) os óxidos de ferro e de alumínio aumentam a retenção de sulfatos. HOWARD et alii (1962) observaram que o sulfato retido está em equilíbrio dinâmico com o sulfato em solução e que os mecanismos de adsorção e dessorção são dependentes da concentração da solução de equilíbrio. Da mesma forma CATANI et alii (1971), estudando o efeito do pH na adsorção de sulfatos, constataram que a quantidade de sulfato adsorvido aumenta com a concentração do mesmo na solução de equilíbrio; e ainda, que os dados obtidos se adaptaram melhor a equação de Freundlich, na sua forma linear, que a equação de Langmuir.

2.2.2 - Em solos com baixos teores de matéria orgânica a principal fonte de reserva para as plantas são os sulfatos adsorvidos pelos colóides do solo (óxido de Fe e Al e argilas do tipo 1:1), pois além de estarem prontamente protegidos de perdas por lixiviação, tal adsorção é muito fraca (adsorção não específica ou trocável), podendo o sulfato passar facilmente para a solução do solo e ser absorvido pelas raízes das plantas (KAMPFER & ZEHLER, 1967). propriedades do solo, presença ou BARROW (1969) encontrou alta correlação entre a quantidade de sulfato extraível e a habilidade do solo em adsorver o ânion. E verificou que nos solos que podiam adsorver grandes quantidades de sulfato, o ânion era absorvido pelas plantas mais lentamente que nos solos que não o adsorviam. JONES et alii (1972) observaram que nos solos de regiões úmidas os níveis médios de S disponíveis às plantas eram mais altos que para os das regiões secas e que a acidez dos mesmos influenciou nos níveis de sulfatos adsorvidos que estão originalmente presente no solo. ação da bactéria do grupo *Chemos* trophi. Algumas práticas aplicadas ao solo também influenciam na sua capacidade de adsorver sulfatos. Aplicações de fosfatos e calagem reduzem a capacidade de adsorção de sulfatos pelo solo podendo favorecer as perdas por lixiviação (KAMPRATH et alii, 1956). Essas práticas ao mesmo tempo que diminuem a adsorção de sulfatos, favorecem a absorção de S pelas plantas e perdas por lixiviação. O balanço entre esses processos, é o que determina em termos reais a diminuição ou não da disponibilidade de S às plantas (BISSANI 1985).

## 2.2.2 - Mineralização da matéria orgânica do solo

McCLUNG et alii (1959) em solos do cerrado constataram um aumento na mineralização da matéria orgânica causado pelo cultivo. O enxofre na matéria orgânica representa uma fonte potencial desse elemento para as plantas, a disponibilidade dessa forma fica na dependência da mineralização ou decomposição, que por sua vez é controlada por fatores ambientais (temperatura e umidade do solo), propriedades do solo, presença ou ausência de plantas, tempo e relação C/S (BLAIR, 1979). O processo de mineralização da matéria orgânica é principalmente realizada pelos microrganismos do solo (bactérias, fungos e actinomicetos) ocorrendo tanto em condições de aerobiose como de anaerobiose. O primeiro produto mineral formado é o  $H_2S$ , que em condições aeróbicas é oxidado até o sulfato por organismos autotróficos, principalmente as bactérias específicas do grupo *Thiobacillus* (*T. Thioparus* e *T. Thiioxidans*). Em meio anaeróbico o  $H_2S$  produzido pode ser oxidado a S elementar pela ação da bactéria do grupo Chemotrophic (*Beggiatoa thiothrix*). Quando este processo é limitado, acumula-se  $H_2S$ , que pode alcançar níveis tóxicos às plantas (MELLO et alii, 1982; MENGEL & KIRKBY, 1982). Parte do sulfato obtido através da mineralização é novamente imobilizado ao ser usado na síntese celular durante a proliferação de microrganismos e somente o S em excesso, ao requerimento dos mesmos, estará disponível para o crescimento das plantas. É sensato, portanto, esperar que em alguma etapa do ciclo do S ocorra paralelamente a mineralização e imobilização.

zação (FRENEY & STEVENSON, 1966). Com o tempo, aumenta a disponibilidade de S. McCLUNG et alii (1959) em solos do cerrado constataram um aumento na mineralização da matéria orgânica causado pelo cultivo. Os teores de S do horizonte Ap decresceram de 25 a 75% quando cultivados durante 20 e 30 anos. Nos solos virgens o conteúdo de S orgânico flutuou de 72 a 494 kg/ha, enquanto que nos solos cultivados o valor baixou para 48 a 120 kg/ha, ocorrendo um aumento no teor de S extraível no horizonte B dos solos cultivados, resultante da lixiviação do sulfato mineralizado ou da adubação sulfatada. FRENEY & SPENCER (1960) baseando-se em medidas do  $SO_4$  recuperado do solo e do S absorvido pelas plantas, observaram que a presença de plantas influenciam na mineralização do enxofre. Isto deve-se, provavelmente a maior atividade microbiana na rizosfera e à excreção pelas raízes de substâncias catalizadoras da matéria orgânica (KAMPRATH & TILL, 1983).

*Cas. Em solos do Brasil*

*São Paulo* A taxa de mineralização do N e do S é afetada pelo pH do solo (TABATABAI & AL-KHAFAJI, 1980), sendo considerado um fator determinante da mineralização, pelo seu marcante efeito na população e atividade microbiana. A adição de  $CaCO_3$  ao solo conduz a um aumento no sulfato solúvel devido: a) ao melhor desenvolvimento das bactérias; b) a maior liberação do sulfato da matéria orgânica por hidrólise química em meio alcalino; e c) a maior liberação do sulfato adsorvido dos sítios de troca pela elevação do pH (FRENEY & STEVENSON, 1966).

*Rio Grande* JORDAN & ENSMINGER (1958) observaram, em condições experimentais, que a aração acelera a decomposição da matéria

orgânica e, durante um período de tempo, aumenta a disponibilidade de enxofre e o crescimento das plantas em solos deficientes em S. TABATABAI & AL-KHAFAJI (1980) estudando 12 solos representativos do Estado de Iowa (EUA), constataram que a temperatura do solo afeta a mineralização do N e S. À temperatura de 20°C a mineralização foi de 1,7 a 4,2 e de 0,5 a 1,2 ug/g de solo/semana de N e S respectivamente. À 35°C, a mineralização do N e do S variou de 7,7 a 17 e de 1,6 a 3,5 ug/g de solo/semana. O sulfato tanto está sendo mineralizado como não. EVANS & ROST (1945) verificaram a existência de uma estreita relação entre as quantidades de C, N e S na matéria orgânica do solo, e que a proporção desses elementos influem na taxa de mineralização do N e do S. Entretanto BIEDERBECK (1978) salienta que esta estreita relação entre o C-orgânico e o S não implica em uma relação C/S relativamente constante em solos de diferentes regiões climáticas. Em solos do Brasil (São Paulo e Paraná), NEPTUNE et alii (1975) estabeleceram as proporções médias para o C:N:S totais de 194:10:1,6 e correlações significativas entre o S-total e C-orgânico. BISSANI (1985) avaliando a disponibilidade de enxofre para as plantas em solos do Rio Grande do Sul, obteve para relação C-orgânico/S-total valores que variaram de 37, para o solo Santo Ângelo II, a 195 no solo Vacacaí, com média 105, valor próximo da média mundial que é de 108. NASCIMENTO & MORELLI (1980 a,b) também trabalhando com solos do Rio Grande do Sul, obtiveram resposta à aplicação de S para relação C/S superior a 120. Tal fato é explicado através da

imobilização do S na matéria orgânica, o qual pode ser liberado pela correção da acidez. Concluindo que a relação C/S do solo pode ser um bom indicador para a disponibilidade de S às plantas.

BARROW (1960), verificou que se a relação C/S está abaixo de 200, o sulfato geralmente encontra-se acumulado no solo; se a relação está acima de 400, o sulfato encontra-se imobilizado na matéria orgânica do solo. Para relação C/S entre 200 e 400 o sulfato tanto está sendo mineralizado como imobilizado.

Para a relação N/S, JAZEN & BETTANY (1984) sugeriu que o valor ótimo na planta é aproximadamente 7, uma vez que o N e o S são usados em proporções relativamente constante na síntese de sementes e que as partes vegetativas funcionam como depósitos para o armazenamento do excesso de nutriente absorvido. Quando o N é limitante, altos níveis de S acumulam-se nas folhas e caules. A presença de altos níveis de S não protéico é indicada pela baixa relação N/S. Ao contrário, quando o S é limitante, o N acumula-se nas partes vegetativas, como amido e aminoácidos livres.

A mineralização do S, com liberação de sulfatos, pode também ocorrer por processos puramente químicos (FRENEY, 1961). Entretanto, deve-se considerar que os principais determinantes do aumento do teor de S extraível nos solos, são certamente a calagem e a incubação, por seu efeito na mineralização do S-orgânico e na dessorção do S (TEDESCO, 1985).

forma de  $\text{BaSO}_4$ , e mantido em suspensão, cuja a densidade ótica

### 2.3 - índices de avaliação da disponibilidade de enxofre no solo

A avaliação do enxofre no solo vem sendo incrementada nos últimos anos, visto que a deficiência desse elemento tem sido evidenciada em extensas áreas de solo no planeta. Vários métodos e extratores são constantemente sugeridos, concentrando-se os esforços na determinação dos sulfatos, já que o S total dos solos, não é uma boa estimativa de sua disponibilidade para as plantas. Os inúmeros métodos propostos podem ser agrupados em métodos químicos e biológicos (ENSMIN-SER & FRENEY, 1966; HOEFT et alii, 1973; TABATABAI & BREMNER, 1982). As determinações de sulfatos são feitas basicamente por três métodos: precipitação do sulfato com o bário (BEATON et alii, 1968), redução do sulfato com o ácido iodídrico e quantificação do  $H_2S$  resultante (JOHNSON & NISHITA, 1952) ou a técnica do azul de metileno (TECHINICON, 1952). REISENAUER (1972) cita diferentes metodologias analíticas para determinação do enxofre presente nos extratos, sendo: titrimetria, gravimetria, espectrofotometria de absorção e fluorescência de raios x.

CHESNIN & YIEN (1950) compararam os procedimentos turbidimétricos e gravimétricos de determinação de sulfatos solúveis. No método turbidimétrico o sulfato é precipitado na forma de  $BaSO_4$  e mantido em suspensão, cuja a densidade ótica



(turbidez) é medida em colorímetros e espectrofotômetros. É um método rápido, permite a determinação de sulfatos em volumes de solução que não poderiam ser usados no método gravimétrico, de fácil execução podendo ser empregado na rotina e está sujeito a menores fontes de erros que o método gravimétrico. No método gravimétrico, a determinação do sulfato é lenta e tediosa. Para baixas concentrações de sulfatos na água é necessário concentrar a amostra para obter resultados precisos. A possibilidade de erro no método é devido as perdas do precipitado, adsorção e co-precipitação dos íons sendo esses erros magnificados quando a quantidade total de sulfatos presentes é muito pequena.

FRENEY (1957) já advertia que os métodos convencionais turbidimétricos e gravimétricos, não são suficientemente sensíveis para a determinação de pequenas quantidades de sulfato, e que o método descrito por JOHNSON & NISHITA (1952) embora reúna velocidade, sensibilidade e exatidão, não é específico para o sulfato, sendo isto o seu fator limitante. O autor realizando estudos sobre a determinação de sulfatos solúveis em água, sugeriu a modificação deste último, a qual baseia-se na remoção do material coloidal, bem como de outros compostos inorgânicos do extrato do solo que possam ser estimados como sulfatos.

MAYNARD (1987) considera que a principal limitação dos métodos de determinação é a dificuldade em se obter medidas precisas dos sulfatos em solução. VITTI (1989) relata que a turbidimetria, método constante na literatura exige

dois requisitos básicos para obtenção de sucesso na quantificação do S, são eles: limpidez absoluta dos extratos e estabilidade da suspensão de sulfato de bário. Já os métodos propostos por JOHNSON & NISHITA (1952), método da redução não é específico para o sulfato, desta forma outros compostos solúveis em água (sulfatos orgânicos) podem também ser reduzidos pelo HI. A técnica do azul de metileno também está sujeita a interferência de cátions (principalmente de cations divalentes). Esses problemas aumentam nos solos orgânicos.

Na avaliação do suprimento de S para as plantas, além das técnicas utilizadas, os resultados obtidos e sua interpretação podem ser afetados por outros fatores, entre eles: o tipo de extrator, o solvente utilizado (já que o mesmo extrator pode utilizar solventes diferentes, com diferentes pH, produzindo soluções extratoras finais diferentes), relação solo/extrator, tempo de agitação, secagem, aquecimento etc. No final a sensibilidade do método analítico (conjunto) para diagnosticar a capacidade do solo em fornecer enxofre vai depender do pH, tipo de solo e da planta teste (VITTI, 1989).

Diversos extratores tem sido sugeridos para a avaliação do enxofre no solo. Extratores diferentes podem apresentar diferenças na capacidade de remoção do enxofre e, conseqüentemente, nas relações entre os teores extraídos pelo solo e pelas plantas (BARDSLEY & LANCASTER, 1960). Segundo REISENAUER et alii (1973), os extratores usados para o enxofre disponível podem ser classificados nos que extraem: 1)

sulfato prontamente solúvel; 2) sulfato prontamente solúvel e parte do adsorvido; 3) sulfato prontamente solúvel, porções do sulfato adsorvido e frações do S orgânico. BIEDERBECK (1978) ressalta ainda que o enquadramento de determinado extrator em uma das três classificações não é rígido, pois muito pouco é conhecido sobre a natureza das formas extraídas.

O sulfato prontamente solúvel pode ser extraído com água (SPENCER & FRENEY, 1960), soluções de sal neutro como  $\text{CaCl}_2$  0,15% (WILLIAMS & STEIMBERG, 1959),  $\text{MgCl}_2$  0,005 M e  $\text{LiCl}$  0,1M (WESTERMANN, 1974), cujos ânions não são capazes de deslocar o sulfato adsorvido. REISENAUER et alii (1973) salienta que estes métodos são os menos eficazes em avaliar a disponibilidade. Entretanto TABATABAI & BREMNER (1972a) comparando as soluções de  $\text{LiCl}$  0,1 M e  $\text{CaCl}_2$  0,15% com a de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  com 500 ppm de P, verificaram que esses extratores podem ser perfeitamente utilizados em solos, que não apresentem quantidades significativas de sulfatos adsorvidos, como os de Iowa.

Entre os extratores utilizados na determinação do sulfato prontamente solúvel e parte do adsorvido, encontram-se: soluções básicas como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (SPENCER & FRENEY, 1960) e  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  (FOX et alii, 1964) ambos com 500 ppm de P; solução neutra de  $\text{NH}_4\text{OAc}$  (MACCCLUNG et alii, 1959 e SPENCER & FRENEY, 1960) e suspensão de  $\text{CaCO}_3$ ; acetato de sódio 0,25 N + ácido acético para ajustar o pH a 4,8 (reagente de Morgan) (CHESNIN & YIEN, 1950).

O sulfato prontamente solúvel, porções do sulfato

adsorvido e frações do S orgânico incluem em sua determinação soluções ácidas de fosfatos,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  ou  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  com 500 ppm de P em ácido acético 2N (HOEFT et alii, 1973),  $\text{NaHCO}_3$  0,5N pH 8,5 (método de Olsen) (KILMER & NEARPASS, 1960); NaCl 1% após a fervura com água e secagem (S solúvel a quente) (WILLIAMS & STEIMBERGS, 1959); o reagente de Morgan ( $\text{NaOAC} + \text{HOAC}$ ) (CHESNIN & YIEN, 1950) e  $\text{NH}_4\text{OAC}$  0,5 N +  $\text{HOAC}$  0,25N (BARDSLEY & LANCASTER, 1960).

Em revisão, BARROW (1967) relata que os extratores que possuem o íon fosfato em sua composição são os mais usados e considerados os mais adequados pela literatura, uma vez que este íon é capaz de deslocar o sulfato adsorvido. O autor estudando a variação do tempo de extração, a relação solo:solução e a concentração do fosfato na solução extratora, verificou que a maioria dos solos deslocam mais sulfato adsorvido após um máximo de 24 horas, a relação solo:solução mais adequada foi de 5:1 e a concentração mais efetiva e conveniente da solução de monofosfato de cálcio foi de 0,01M. O  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  além de apresentar boas correlações entre o sulfato extraído e o absorvido pelas raízes e produção das culturas, apresenta a vantagem em termos operacionais, permitindo a obtenção de extratos límpidos e de filtração rápida, devido o cálcio diminuir o efeito depressivo da matéria orgânica na turbidez do extrato (VITTI, 1989). Por outro lado, em solos fortemente fixadores de fósforo, a sua efetividade pode ser comprometida, devido a remoção rápida do fosfato da solução durante a extração do sulfato, reduzindo a concentração e a e-

eficiência do extrator (BEATON et alii 1968, ISLAM & BRUIYAM, 1984).

FOX et alii (1964) trabalhando com 24 solos de Nebraska e com diferentes extratores, verificaram que a água foi um extrator relativamente eficiente para estes solos. Por outro lado a extração com fosfato apresentou-se mais eficiente, conveniente até para solos arenosos. O emprego do  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , além de permitir uma filtração mais rápida, a presença de extratos turvos são menos frequentes. Segundo BARROW (1967) a água embora seja um extrator simples para o sulfato, apresenta a desvantagem de levar os solos a desfloculação, produzindo extratos difíceis de serem filtrados.

NEPTUNE et alii (1975) testando extratores, verificaram que o sulfato obtido em solos de São Paulo e Paraná (BRA) variou de 1 a 9% (média de 5%) para o extrator  $\text{LiCl}$  0,1 M, enquanto que a solução de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  com 500 ppm de P, a variação foi de 5 a 23% (média de 11%). Para os solos de Iowa (E.U.A.) os sulfatos extraídos variaram de 2 a 7% (média de 4%) com 0,1 M  $\text{LiCl}$  e 2 a 8% (média de 5%) para o  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  com 500 de P. Com estes dados o autor constatou que mais sulfato foi extraído dos solos brasileiros pela solução de fosfato de cálcio indicando que estes solos contém grande quantidade de sulfato adsorvido.

VAUGHN et alii (1987) avaliando o "status" de S em 17 amostras superficiais de solos do Nordeste da Califórnia, usando o trevo anual como planta indicadora verificou a seguinte ordem de efetividade para os extratores:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$

com 500 ppm de P em HOAC 2N = 0,03N  $\text{NH}_4\text{F}$  + 0,025N HCl >  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  com 500 ppm de P > LiCl. Este pesquisador resalta ainda, que soluções ácidas contendo íons com alto poder de deslocamento, são capazes de removerem sulfatos solúveis e adsorvidos e aparentemente porções firmemente sorbidas do sulfato inorgânico e frações mais lábeis do S orgânico.

BISSANI (1985) trabalhando com 52 solos do Rio Grande do Sul, visando comparar extratores cultivou a colza (*Brassica napus L.*) em casa de vegetação com dois tratamentos, com e sem enxofre. seus resultados mostraram maior correlação entre o S absorvido e S extraível por fosfato de cálcio ( $r=0,82$ ), comparativamente com os valores para a mesma solução a quente ou com ácido acético e para a resina de troca aniônica. Observou ainda que o extrator  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  em ácido acético subestima o teor de S extraível em solos argilosos e/ou com alto teor de cálcio. Em doze latossolos do Estado de Minas Gerais, FONTES et alii (1982 a,b) comparando os extratores:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ -HOAC e o reagente de Morgan, concluíram que o fosfato de cálcio em ácido acético foi o extrator mais indicado para esses solos.

De acordo com BARROW (1967) a extração por meio de soluções com cátions divalentes, como o cloreto de cálcio, oferece a vantagem de se obter facilmente extratos claros. A desvantagem do  $\text{CaCl}_2$ , como extrator, é que o íon cloreto é um competidor pobre, para os sítios de adsorção, consequentemente pode subestimar o S disponível. Altas concentrações de cátions monovalentes tem sido amplamente empregados por não

causarem desfloculação, entretanto apresentam a desvantagem de extrair parte da matéria orgânica que interferirá na precipitação do sulfato de bário. Em decorrência disso deverá ser incluída etapas com a finalidade de remover a matéria orgânica. Segundo BLAIR (1979) a limpidez dos extratos pode ser conseguida por meio da filtração lenta com papel quantitativo associado ao uso de carvão ativado. Já a estabilidade da suspensão de sulfatos de bário, têm-se contornado o problema com o uso de estabilizadores como a goma arábica e álcool polivinílico. A oxidação da matéria orgânica não é aconselhável uma vez que eleva a concentração de sulfatos pela a oxidação do S orgânico a  $SO_4$ . Para avaliar a disponibilidade de um nutriente do solo RAIJ & QUAGGIO (1983) sugerem também a avaliação do enxofre através de técnicas microbiológicas (*Aspergillus niger*), valor "A" e "a", técnica de incubação e também a possibilidade de avaliação pela resina trocadora de íons.

A avaliação da disponibilidade de S pelo crescimento microbiano consiste em relacionar o crescimento de determinada espécie de microrganismo com parâmetros de plantas cultivadas no mesmo solo. Enquanto que os métodos de incubação procuram avaliar, em condições adequadas de ambiente, a capacidade do solo em converter S orgânico em  $SO_4$ , refletindo o potencial de disponibilidade de S. Entretanto diversos fatores limitam a utilização de tal método, são eles: pequena taxa de mineralização em condições de laboratório, principalmente na ausência de plantas; inicialmente a incubação promove a imobilização do S orgânico (SPENCER & FRENEY, 1960). De

acordo com BIEDERBECK (1978) tais métodos apresentam limitações peculiares e aliados a morosidade do processo, tornam discutível o seu emprêgo na avaliação da disponibilidade de S, principalmente em análises rápidas com o objetivo de determinar a necessidade de adubação.

A seleção BISSANI (1985) em revisão, salienta que os métodos que empregam a diluição isotópica ( $^{35}\text{S}$ ) baseiam-se na medição da atividade radioativa do S na planta, geralmente denominado valor "A", ou no solo (S tocável), denominado valor "A" do solo ou mais recentemente valor "L" (PROBERT; SCOTT). Conforme BATISTA et alii (1978) a aplicação do princípio da diluição isotópica para avaliar a disponibilidade de um nutriente do solo para as plantas, de início mostrou-se como uma técnica realística e de grande possibilidades. No entanto limitações de ordem metodológicas tem levado pesquisadores a resultados duvidosos.

A extração de ânions usando resina foi inicialmente sugerida para o fósforo, e mais tarde, usada na avaliação da disponibilidade do S por diversos autores. A resina proporciona um dreno para os nutrientes, simulando dessa forma, a remoção pela planta dos elementos na solução (OLSEN & KHASAWNEH, 1980). RAIJ & QUAGGIO (1983) ressaltam que a extração através da resina de troca aniônica, por não perturbar as condições químicas do solo, é a que melhor simula o comportamento do sistema solo-raiz. Além disso em mistura com a resina catiônica, pode ser extraído na mesma operação outros nutrientes como o P, K, Ca e Mg. ACIOLLY (1985) entretanto ve-



rificou ao utilizar o método da resina aniônica na determinação do S, que o enxofre extraído não foi uma medida do enxofre disponível para o eucalipto. (LOR, TOUSTEIRO) exigem mais S do que De acordo com exposto, cada extrator e cada técnica de determinação do S disponível apresenta certas limitações. A seleção de cada um vai depender de alguns critérios, entre eles: adaptabilidade para diferentes tipos de solos; possibilidade de obtenção de extratos claros; reprodutibilidade; rapidez na obtenção dos resultados; altas correlações com os principais parâmetros de avaliação e sensibilidade à baixas concentrações. (este da Inglaterra, JONES (1971) ao excluir

o S proveniente da atmosfera e das precipitações, em experimento de casa de vegetação, constatou que o suprimento

#### 2.4 - Deficiências de S e níveis críticos

de culturas altamente produtivas, como o centeio e o trevo verde (LOR, TOUSTEIRO) (1970) na região sul da Austrália, verificou

que a A deficiência de enxofre têm-se verificado em solos de diversas regiões do planeta e também no Brasil. Entre os fatores responsáveis para o aumento da necessidade de S para as culturas, citam-se: o uso crescente de fertilizantes concentrados, que contém pouco ou nenhum enxofre, culturas altamente produtivas, redução do uso de S nos pesticidas e redução nos ganhos de S atmosférico para o solo e plantas, como resultado da diminuição da queima de carvão e outros combustíveis que contém S (TABATABAI & BREMNER, 1972). No Brasil, MALAVOLTA (1952) já alertava sobre o uso de fertilizantes concentrados que poderiam causar deficiência de S às cultu-

ra. As necessidades da planta por S são da mesma ordem que as de P e algumas culturas (cana-de-açúcar, batatinha, algodoeiro, feijoeiro, cebola, couve-flor, tomateiro) exigem mais S do que P (MALAVOLTA et alii, 1979).

Estudando o enxofre como nutriente para as plantas, JORDAN et alii (1960) verificaram em solos do Sudoeste dos Estados Unidos, que o teor do elemento é baixo nos horizontes superficiais de solos podzolizados vermelho amarelo, e que há acúmulos de sulfatos em horizontes mais inferiores os quais podem contribuir para as necessidades de algumas culturas. Em solos do Sudoeste da Inglaterra, JONES (1971) ao excluir o S proveniente da atmosfera e das precipitações, em experimento de casa de vegetação, constatou que o suprimento do solo foi insuficiente para atender o requerimento de culturas altamente produtivas, como o centeio e o trevo vermelho. NICHOLSON (1970) na região sul da Austrália, verificou que a deficiência de S é generalizada em solos arenosos. A concentração de enxofre na forma de sulfatos a 3,0 cm de profundidade desses solos é extremamente baixa (0-2 ppm), encontrando-se as reservas acumuladas quase inteiramente na forma orgânica. Segundo COLEMAN (1966) fortes deficiências de S não estão restritas somente a solos arenosos excessivamente drenados sob precipitações pluviométricas elevadas, uma vez que podem ocorrer em regiões onde as mesmas são relativamente baixas, como é o caso do Norte da Califórnia.

No Brasil têm-se observado resposta ao S em plantas cultivadas em diversos solos. MACCLUNG et alii (1959) em ex-

perimento de casa de vegetação, usando amostras do horizonte A e B de solos do cerrado e de mata virgem do planalto central do Brasil (São Paulo e Goiás) e o milho como planta indicadora, constataram severas deficiências de S nos solos do cerrado e menor resposta nos horizontes superficiais de mata virgem. O horizonte B dos solos cultivados apresentou menor deficiência indicando um movimento descendente do enxofre. Em três solos sob a vegetação do cerrado, usando 4 graminhas e 5 níveis de S, CASAGRANDE et alii (1982) observaram que a maior frequência de resposta ao S ocorreu com a dose de 30 kg/ha. Entretanto, os autores salientam que tais respostas ocorreram na presença de elevados níveis de P e N, o teor de S será suficiente na maioria dos casos. ALVAREZ (1987) estudando em casa de vegetação as concentrações relativas N-P-S na adubação do cafeeiro, num latossolo vermelho amarelo fase cerrado, verificou que ao se elevar o nível de P e N, tornou-se necessário também elevar o nível de S. Tendo como sugestão de adubação, a adição de 165 ppm de N, 80 ppm de P e 44 ppm de S. A aplicação de S e acima de 10 ppm de S essa probabilidade é baixa. Os níveis críticos de enxofre no solo variam com o método usado na avaliação da sua disponibilidade, com a cultura e com as características do solo. De modo geral encontram-se variando entre 6 a 12 ppm (REISNAUER et alii, 1973). McCLUNG et alii (1959) cultivando o milho em 11 amostras de solos, coletadas na região de Baurú e Ribeirão Preto (SP), sob vegetação do cerrado encontraram o nível crítico entre 6 e 7 ppm, tendo como extrator do S, o  $\text{NH}_4\text{OAc}$  N pH 7.

ARORA & SEKOU (1976) estudando vários extratores e usando 22 amostras de solos e a aveia como planta indicadora, obtiveram como níveis críticos para o enxofre disponível 24, 22, 11 e 15 ppm com os respectivos extratores: valor "A", 0,5 M NaHCO<sub>3</sub> (pH 8,5), solúvel em água quente e acetato de amônio em ácido acético. Trabalhando em 12 latossolos do estado de Minas Gerais, com níveis de adubação de S e o sorgo granífero como planta indicadora FONTES et alii (1982 a,b) definiram níveis críticos, com três extratores, para os solos separadamente, obtendo valores que variaram de 1,2 a 12 ppm para Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-HOAC, 2 a 14 ppm para Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O e 2,1 a 12,3 ppm para o reagente de Morgan, para 90% da produção máxima estimada. Usando o extrator Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> em água com 500 ppm de P, NASCIMENTO & MORELLI (1980a,b) trabalhando em solos do Rio Grande do Sul (BRA) e com as culturas sorgo e alfafa e RENEAU (1973) em solos da Virginia (EUA) com a cultura do milho, indicaram como níveis críticos os valores 6 e 10 ppm de S. Salientando ainda, que abaixo de 6 ppm há uma alta probabilidade de resposta à aplicação de S e acima de 10 ppm de S essa probabilidade é baixa. NASCIMENTO & MORELLI (1980) analisando os resultados obtidos FOX et alii (1977) trabalhando com cultivares de *Vigna unculata* L., observaram que a concentração crítica de S na solução do solo, necessária para uma máxima produção de grãos, variou de 0,06 a 0,22 mM (2 a 7 ppm). Posteriormente, FOX (1980), sugeriu que a concentração de 0,16 mM (5 ppm) de sulfatos seria adequada para a maioria das cultivares. Conduzindo experimento em casa de vegetação, em ultissolos e usan-

do o trigo como planta indicadora, HUE et alii (1984), obtiveram como nível crítico o teor de 6 ppm. ACIOLLY (1985) testando diferentes extratores em amostras de 14 solos do cerrado de Estado de Minas Gerais, constatou que de modo geral os níveis críticos estabelecidos com a resina (10,3-19,0 ppm), foram superiores àqueles obtidos com o extrator fosfato monocalcico (1,8-14,9 ppm).

STEWART & PORTER (1969) sugerem o emprego da concentração de sulfatos na planta como um indicador de suficiência ou deficiência desse nutriente, considerando que o S presente na planta em quantidades excedentes a requerida na síntese de proteínas, acumula-se no tecido vegetal, especialmente na forma de sulfatos. Segundo esse critério, a ocorrência de concentrações acima de um determinado nível de sulfatos, para cada espécie vegetal, indicará suficiência nutricional. Entretanto em plantas forrageiras, o emprego das concentrações de S total e S na forma de sulfatos como dados absolutos para a diagnose é limitado, pois esses índices sofrem variações de acordo com a parte amostrada e com a idade.

NASCIMENTO & MORELLI (1980) analisando os resultados obtidos para o teor de enxofre no tecido da alfafa, verificaram que o uso desse parâmetro como índice de deficiência deve vir acompanhado de suas interações com o nitrogênio, devido a importância dos dois na síntese de proteína. NUTTAL (1985) estudando o efeito da fertilização com N-P-S no crescimento da alfafa em três tipos de solos, encontrou a faixa de 14:1 a 21:1 para a relação N/S como o limite para a deficiência de S

e recomenda que esta relação deve ser usada juntamente com a análise de solo, para tornar mais precisa a recomendação do requerimento de S pela alfafa. STEWART & PORTER (1969) trabalhando com milho, trigo e feijão, constataram que estas espécies requerem relação N/S no tecido em peso, de 12 a 15, para a máxima produção de matéria seca e proteínas sendo o maior valor relacionado a leguminosas.

As metionina e cisteína, são aminoácidos essenciais, sendo a metionina constituinte dos aminoácidos metionina e cisteína, comumente encontrados nas plantas. A metionina

## 2.5 - Enxofre na planta

animal, enquanto que a cisteína, embora não sendo essencial, pode complementar a metionina quando esta encontra-se em baixas concentrações (JORDAN & ENSMINGER, 1950).

O papel do enxofre no desenvolvimento das culturas vem sendo objeto de diversas pesquisas. Têm-se enfatizado a distribuição do elemento nas diversas partes das plantas e o efeito da sua deficiência no metabolismo dos carboidratos e nitrogênio. BEESON (1941) demonstrou através de análises que o enxofre total nas plantas pode aproximar-se ou até exceder a concentração de fósforo total. Assim, por exemplo, a cultura do algodoeiro apresenta em média 0,28% de S e 0,24% de P em base de matéria seca (COOPER & MITCHEL, 1946).

As plantas normalmente absorvem o S na forma de sulfato que é reduzido para outras formas durante o metabolismo. Raramente outros nutrientes afetam a sua absorção, entretanto o selênio que é quimicamente relacionado, reduz substancialmente a absorção de enxofre. O conteúdo de S total nos tecidos é influenciado pela disponibilidade do S no solo,

R 915475



parte da planta amostrada e sua relação com o nitrogênio, varia geralmente entre 0,1 e 0,5%. Os teores mais elevados são encontrados nas espécies das famílias Liliaceae e Brassicaceae (Cruciferae) que apresentam altos teores de compostos não protéicos que contém S, tais como os glicosídeos aromáticos (COLEMAN, 1966).

As principais funções do enxofre no metabolismo vegetal, são :

- 1) constituinte dos aminoácidos metionina e cisteína, comumente encontrados nas plantas. A metionina é essencial na nutrição animal, enquanto que a cisteína, embora não sendo essencial, pode complementar a metionina quando esta encontra-se em baixas concentrações (JORDAN & ENSMINGER, 1958),
- 2) o S é constituinte de dois reguladores do crescimento, tiamina e biotina (B<sub>7</sub>);
- 3) constituinte de glicosídeos ou glucosinolatos, compostos aromáticos voláteis que conferem características de odores e sabores a certas famílias de vegetais como as Liliaceae e Cruciferae;
- 4) constituinte do ácido lipóico e glutationa, que compõem importantes sistemas de oxidação-redução;
- 5) constituinte de pontes dissulfeto nos polipeptídeos e proteínas, função essencial do S na bioquímica, uma vez que estas pontes contribuem para a conformação de proteínas enzimáticas.

Além de sua função como material construtor das plantas, o enxofre favorece a formação da clorofila, o desenvolvimento do sistema radicular e a nodulação em leguminosas (MENGEL & KIRKBY, 1982).

Sob condições de deficiências de S os principais sintomas visuais que podem ocorrer são: clorose, redução no

crescimento, na área foliar e na frutificação. As plantas deficientes apresentam-se rígidas, brilhantes e com o diâmetro do caule bastante reduzido. Nas crucíferas a extensão lateral da folha é reduzida, bem como o seu tamanho. Em caso de extrema deficiência pode ser desenvolvida a antocianina, pigmento que confere as cores marron e púrpura às plantas atingidas. A formação do cloroplasto é afetada podendo ocorrer até a sua destruição em casos severos. Ao contrário da deficiência de nitrogênio, os sintomas de clorose ocorrem primeiro nas folhas jovens, recentemente formadas. Isto demonstra que tecidos velho não podem contribuir para o suprimento de S das folhas jovens, que são obviamente dependentes do S absorvido pela raiz. A deficiência de S, provoca ainda, redução do nº e peso dos nódulos em leguminosas, resultado do crescimento reduzido e conseqüentemente redução na demanda por nitrogênio pelas plantas. O prolongamento do estado de deficiência severo pode culminar com a morte do vegetal (WALLACE et alii, 1961; MENGEL & KIRKBY, 1982).

Como o enxofre é um constituinte essencial da proteína, a deficiência em S resulta em uma inibição na síntese de proteínas, tornando a relação N/S muito larga. No campo a deficiência de S e N são algumas vezes difíceis de se distinguir, nesse caso a análise foliar pode ser válida. Nas plantas deficientes, o nível de sulfato é baixo, havendo um acúmulo de N não protéico, na forma de amidas, aminoácidos não sulfurados e formas inorgânicas ( $\text{NO}_3^-$ ). Isso contrasta marcadamente com a deficiência de N onde o nível de N solúvel é



reduzido e o de sulfato é normal (STEWAR & PORTER, 1969).

A toxidez de S, somente ocorre em casos onde a concentração de sulfato é da ordem de 1600 mM, como em alguns solos salinos. Os sintomas não são específicos para o excesso de S sendo mais típico de plantas afetadas pelos sais. Na atmosfera a concentração de sulfatos é geralmente em torno de 0,1 a 0,02 mg/m<sup>3</sup>, entretanto em áreas industriais, concentrações muitas vezes maiores que esse nível normal são registradas. O efeito tóxico do sulfato, absorvido e acumulado nas plantas em altos níveis, leva ao rompimento das membranas do cloroplasto (MENGEL & KIRKBY, 1982). Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará (JACOMINE et alii, 1970) e em relatórios de Levantamentos detalhados do município de Pentecoste (COELHO, 1971; NOTA, 1980) do município de Caucaia (LINA, 1980) e da Região de Ibiapaba (SUDEC, 1978).

Foram selecionados solos cultivados e não cultivados e após identificação no campo procedeu-se a coleta de amostras de 50 kg de solo na profundidade de 0-20 cm. Todos os pontos de coletas foram devidamente caracterizados com o uso de fichas individuais, quanto à localização, cobertura vegetal, porte da vegetação e posição no relevo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas ze peneiras com abertura de malha de 2 mm. Da terra fina seca ao ar (TFSA) foram retiradas subamostras para análise de caracterização física e química, destinando-se o restante para o en-

solo em casa de vegetação.

### 3.0 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.2 - Localização e classificação dos solos

#### 3.1 - Seleção e coleta de solos

Os solos amostrados estão localizados nas seguintes zonas fisiográficas: Litoral (Município de Pacajus); Paturité (Município de Pacajus). Para a condução do experimento foram coletados vinte três solos de importância agrícola do Estado do Ceará, com base no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará (JACOMINE et alii, 1973) e em relatórios de Levantamentos detalhados do município de Pentecoste (CDE-LHO, 1971; MOTA, 1980) do município de Caucaia (LIMA, 1980) e da Região da Ibiapaba (SUDEC, 1978). Am. (Ibiapaba), Am. (Litoral). Foram selecionados solos cultivados e não cultivados e após identificação no campo procedeu-se a coleta de amostras de 60 kg de solo na profundidade de 0-20 cm. Todos os pontos de coletas foram devidamente caracterizados com o uso de fichas individuais, quanto à localização, cobertura vegetal, porte da vegetação e posição no relevo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com abertura de malha de 2 mm. Da terra fina seca ao ar (TFSA) foram retiradas subamostras para análise de caracterização física e química, destinando-se o restante para o en-

saio em casa de vegetação.

### 3.2 - Localização e classificação dos solos

Os solos amostrados estão localizados nas seguintes zonas fisiográficas: Litoral (Município de Pacajus); Baturité (Municípios de Baturité, Mulungu, Pacoti e Palmácea); Sertão do Baixo Juagaribe (Municípios de Limoeiro do Norte, Palhano, Russas, São João do Juagaribe e Tabuleiro do Norte); Sertão Centro Norte (Município de Caridade e Pentecoste); Ibiapaba (Município de Tianguá, Ubajara e Viçosa do Ceará).

Segundo a classificação de Koeppen a maioria destes solos encontram-se em clima tipo: Aw'e Amw' (Ibiapaba), Aw' (Litoral e sertão Centro Norte) e Bsw'h' (Sertão do Baixo Juagaribe). A média anual de precipitação pluviométrica varia de 1000 a 1500 mm nas zonas fisiográficas do Litoral e Ibiapaba e 500 a 1000 mm nas demais zonas fisiográficas. O relevo das áreas de coleta varia de plano a ondulado e a vegetação predominante é formada por hiperxerófilas (JACOMINE et alii, 1973).

Os pontos de coleta encontram-se representados na FIGURA 1 e a classificação, localização e outras características são dadas na TABELA 1.

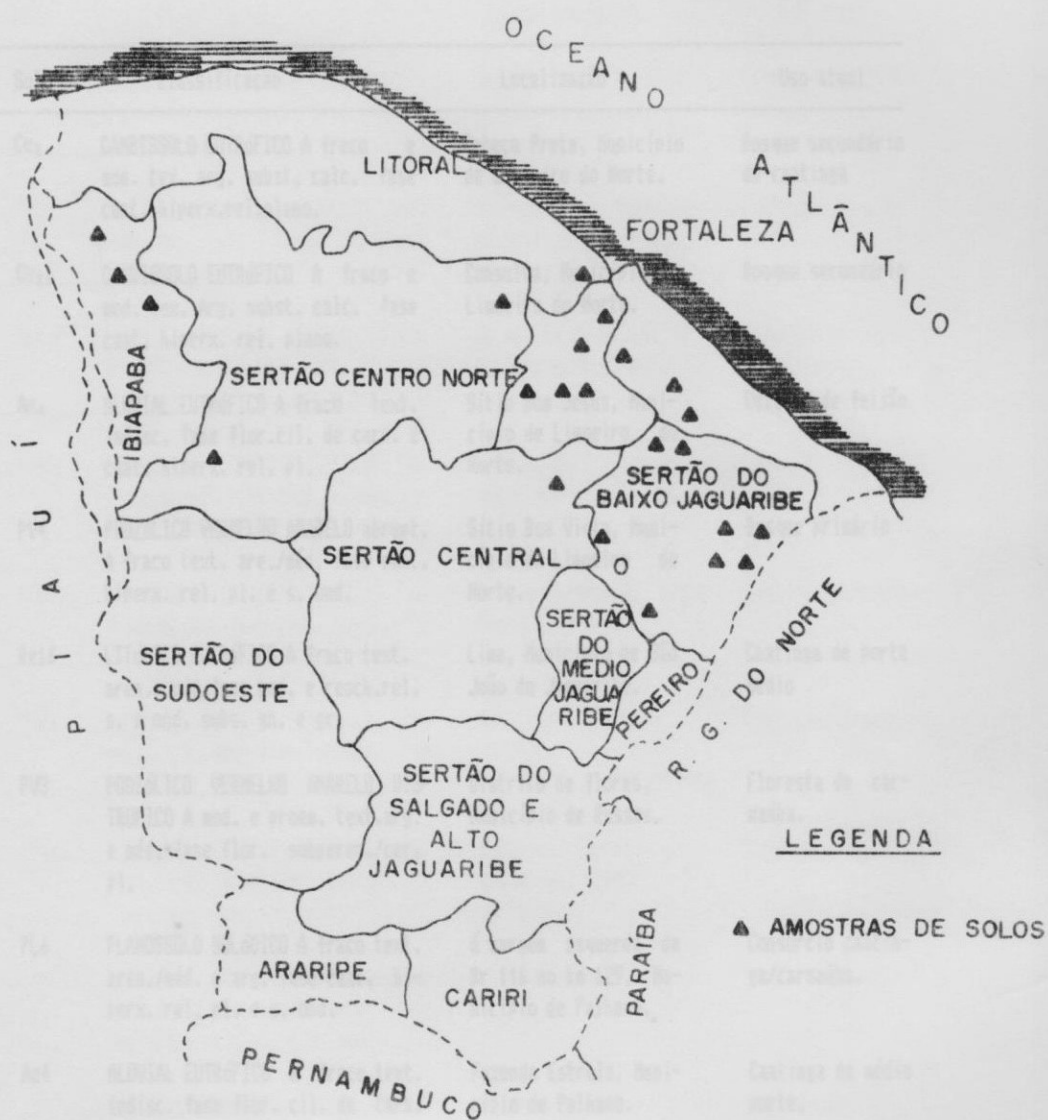


FIGURA 1 - Estado do Ceará: Zonas Fisiográficas e indicação aproximada dos locais de exames de perfís e coleta de amostras de solos.

QUADRO 1 - Classificação, localização e uso atual dos solos

| Nº | Solo             | Classificação   | Localização  | Uso atual                       |
|----|------------------|---|--|---------------------------------|
| 01 | Ce <sub>r</sub>  | CAMBISSOLO EUTRÓFICO A fraco e mod. tex. arg. subst. calc. fase caat. hiperx. rel. plano.             | Cabeça Preta, Município de Limoeiro do Norte.                | Bosque secundário de caatinga   |
| 02 | Ce <sub>rx</sub> | CAMBISSOLO EUTRÓFICO A fraco e mod. tex. Arg. subst. calc. fase caat. hiperx. rel. plano.             | Consulta, Município de Limoeiro do Norte.                    | Bosque secundário               |
| 03 | Ae <sub>4</sub>  | ALUVIAL EUTRÓFICO A fraco text. indisc. fase flor. cil. de carn. e caat. hiperx. rel. pl.             | Sítio Bom Jesus, Município de Limoeiro do Norte.             | Cultivo de feijão               |
| 04 | PV4              | PODZÓLICO VERMELHO AMARELO abrupt. A fraco text. are./méd. fase caat. hiperx. rel. pl. e s. ond.      | Sítio Boa Vista, Município de Limoeiro do Norte.             | Bosque primário                 |
| 05 | Re16             | LITÓLICO EUTRÓFICO A fraco text. aren. e méd. fase ped. e rech. rel. s. e ond. subs. gn. e gr.        | Lima, Município de São João do Jaguaribe.                    | Caatinga de porte médio         |
| 06 | PV3              | PODZÓLICO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A mod. e proem. text. arg. e méd. fase flor. subperen./cer. pl. | Distrito de flores, Município de Russas.                     | Floresta de carnaúba.           |
| 07 | PL6              | PLANOSSOLO SOLÓDICO A fraco text. aren./méd. e arg. fase caat. hiperx. rel. pl. e s. ond.             | À margem esquerda da Br 116 no km 129, Município de Palhano. | Consórcio caatinga/carnaúba.    |
| 08 | Ae4              | ALUVIAL EUTRÓFICO A fraco text. indisc. fase flor. cil. de carn. e caat. hiperx. rel. pl.             | Fazenda Estrela, Município de Palhano.                       | Caatinga de médio porte.        |
| 09 | NC14             | BRUNDO NÃO CALCÍDICO INDISCRIMINADOS fase caat. hiperx. rel. s. ond. e ond. fase caat. hiperx.        | Amanari, Município de Itapebuçu.                             | Caatinga de alto porte.         |
| 10 | PE-4             | PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EUTRÓFICO A mod. text. arg. fase flor. subcad.                             | Fazenda Imbú, Município de Palmácea.                         | Caatinga de médio a alto porte. |
| 11 | PV1              | PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EUTRÓFICO A mod. text. arg. fase flor. supern. rel. f. ond. e mont.        | No km 61 da CE 021 que vai de Redenção a Araciaba.           | Vegetação de alto porte.        |

continuação... Classificação Física e Química dos solos

| Nº | Solo                | Classificação   | Localização                                       | Uso atual                  |
|----|---------------------|---|---|----------------------------|
| 12 | PE4                 | PLANOSSOLO SOLÓDICO A fraco text. aren./méd. fase caat. hiperx. rel. pl. e s. ond.                  | Fazenda do Sr. Geraldo Holanda em Mulungú.        | Culturas de café e banana. |
| 13 | PV1 <sub>II</sub>   | PODZÓLICO VERMELHO AMARELO A mod. text. arg. fase flor. subperen. rel. f. ond. e mont.              | Estrada de Baturité-Mulungú, á 4km de Mulungú.    | Floresta de alto porte.    |
| 14 | PE-10               | PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EUTROTRÓFICO A fraco text. arg. fase flor/caat. rel. s. ond. e ond.      | No km 20m da Ce 115, Município de baturité.       | Floresta de alto porte.    |
| 15 | AQd4 <sub>I</sub>   | AREIAS QUARTIZOZAS DISTÓFICAS A fraco e mod. fase caat. hipox. e flor./caat. rel. pl. e s. ond.     | Fazenda Caté, em Ocara Município de Redenção.     | Cajueiro                   |
| 16 | AQd4 <sub>II</sub>  | AREIAS QUARTIZOZAS DISTROFICAS A fraco e mod. fase caat. hipox. e flor./caat. rel. pl. e s. ond.    | Próximo a Br 116, entre Choró e Pacajús.          | Caatinga/carnaúba          |
| 17 | PV2 <sub>I</sub>    | PODZÓLICO VERMELHO AMARELO A mod. text. arg. fase flor. subcad. e flor./caat. rel. pl. e s. ond.    | Itaitinga   | Caatinga/carnaúba          |
| 18 | PV2 <sub>II</sub>   | PODZÓLICO VERMELHO AMARELO A mod. text. arg. fase flor. subcad. e flor./caat.                       | Estação Experimental da EPACE em Pacatuba         | Cajueiro                   |
| 19 | LVd7 <sub>I</sub>   | LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A mod. text. méd. fase flor. subperen. rel. pl. e s. ond.     | Viçosa do Ceará                                   | Floresta de alto           |
| 20 | LVd7 <sub>II</sub>  | LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A fraco text. méd./arg. Casc. caat. hipox. rel. pl. e s. ond. | Estrada de Ipu - Ipueiras.                        | Hortaliças                 |
| 21 | AQd7                | AREIAS QUARTIZOZAS DISTÓFICAS A fraco fase rel. pl. e s. ond. fase caat. hiperx.                    | Tianguá   | Hortaliças                 |
| 22 | NC14                | BRUNDS NÃO CALCÍCOS INDISCRIMINADOS fase ped. rel. s. ond. e ond fase caat. hiperx.                 | Fazenda Experimental do Vale do Curú, Pentecostes | Feijão                     |
| 23 | LVd7 <sub>III</sub> | LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A mod. text. méd. fase flor. subperen. rel. pl. e s. ond.     | Estação Experimental da EPACE, Ubajara.           | Floresta de alto pote.     |

3.3 - Caracterização Física e Química dos solos foi obtido por diferença do  $Al^{3+}$  do  $H^+ + Al^{3+}$ .

O valor T (capacidade de troca de cations) foi obtido pelo . As análises de caracterização físicas e químicas foram feitas em TFSA pelos métodos empregados no Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do Solo, do Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal do Ceará, a seguir relacionados: a análise granulométrica da fração mineral (2mm) foi determinada pelo método da pipeta, utilizando-se o hidróxido de sódio-1N como dispersante, e obtida a classificação textural (EMBRAPA, 1979). Nos solos com um teor de matéria orgânica acima de 50% usou-se o  $H_2O_2$  para a sua destruição (FORSYTHE, 1975). A umidade à tensões de 1/3 e 15 atm foi determinada gravimetricamente em amostras deformadas, empregando-se extratores de placa porosas (EMBRAPA, 1979). O pH foi determinado potenciometricamente, na relação solo:água de 1:1 e a condutividade elétrica (CE) determinada no extrato de saturação e medida em ponte salina soilbridge (RICHARDS, 1974). O carbono orgânico foi determinado por oxidação pelo procedimento de Tiurin modificado por Vettori, estimando-se a matéria orgânica com o emprego do fator 1,724. Os cátions trocáveis foram extraídos com acetato de amônio normal pH 7, determinando-se o cálcio e o magnésio por titulação de EDTA e o sódio e potássio por fotometria de chama (USDA, 1967). O alumínio foi extraído com KCl 1N e o hidrogênio e alumínio trocáveis foram extraídos com acetato de cálcio normal pH 7 e titulada a acidez resultante com NaOH 0,1N (EMBRAPA, 1979),

usando-se a fenolftaleína como indicador. O  $H^+$  foi obtido por diferença do  $Al^{3+}$  do  $H^+ + Al^{3+}$ .

O valor T (capacidade de troca de cations) foi obtido pelo somatório dos cátions trocáveis; valor V (saturação de bases), calculado pela fórmula  $V = S \times 100/T$ . O nitrogênio total por digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl (EMBRAPA, 1979); o P assimilável pelo método da Carolina do Norte (extrator  $H_2SO_4$  0,025N e HCL 0,05 N) (VETTORI, 1969).

Os resultados das análises físicas e químicas dos solos estudados, na profundidade considerada, são apresentadas nos QUADROS 2 e 3.

### 3.4 - Procedimento experimental

#### 3.4.1 - Tratamentos

S = Soma de bases; T = Capacidade de troca de cations;  
V = Percentagem de saturação de bases; N = Nitrogênio total;  
C = Carbono orgânico; P = Fósforo disponível;  
M.O = Matéria orgânica; CE = Condutividade elétrica;  
CE a 25°C

Aos 23 solos selecionados foram aplicados dois tratamentos de adubação: sem enxofre ( $S_0$ ) e com enxofre ( $S_1$ ), em três repetições. As doses utilizadas foram 0 e 50 ug de S/ml de solo, as quais foram adicionadas individualmente em cada vaso na forma de  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . Os tratamentos sem enxofre, receberam cálcio na forma de  $CaCl_2$  em quantidade equivalente as encontradas no gesso do tratamento com enxofre. As unidades experimentais consistiram de vasos de polietileno de 2 l de



QUADRO 2 - Características químicas das 23 unidades de solos estudados

| Nº                      | pH  | Cátions trocáveis |                  |                  |                 |                |                                    |       |       |    |      |      | M.O.  | P    |
|-------------------------|-----|-------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------------------------|-------|-------|----|------|------|-------|------|
|                         |     | CE                | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | H <sup>+</sup> + Al <sup>+++</sup> | S     | T     | V  | N    | C    |       |      |
| Solo (H <sub>2</sub> O) |     | mmhos/cm          | mE/100g de solo  |                  |                 |                |                                    | (%)   |       |    |      |      | ppm   |      |
| 01                      | 6,0 | 0,32              | 6,3              | 0,4              | 0,14            | 0,69           | 2,3                                | 7,53  | 9,83  | 76 | 0,08 | 0,79 | 1,39  | 1,0  |
| 02                      | 6,3 | 0,35              | 4,8              | 0,4              | 0,14            | 0,39           | 1,8                                | 5,73  | 7,53  | 76 | 0,12 | 0,84 | 1,45  | 1,0  |
| 03                      | 6,5 | 0,34              | 9,0              | 2,2              | 0,22            | 0,16           | 1,8                                | 11,58 | 13,38 | 86 | 0,05 | 0,39 | 0,67  | 73,0 |
| 04                      | 5,3 | 0,30              | ---              | ---              | 0,13            | 0,16           | 1,7                                | 0,29  | 1,99  | 14 | 0,04 | 0,29 | 0,80  | 3,0  |
| 05                      | 5,7 | 0,69              | 3,9              | 3,1              | 0,43            | 0,26           | 3,9                                | 7,69  | 11,59 | 66 | 0,17 | 1,00 | 13,10 | 24,0 |
| 06                      | 4,7 | 0,35              | ---              | ---              | 0,11            | 0,05           | 1,5                                | 0,15  | 1,65  | 9  | 0,02 | 0,20 | 0,34  | 1,0  |
| 07                      | 5,3 | 0,32              | 2,3              | 0,9              | 0,21            | 0,37           | 1,8                                | 3,78  | 5,78  | 68 | 0,04 | 0,41 | 0,71  | 1,0  |
| 08                      | 5,0 | 0,31              | 5,2              | 3,3              | 0,43            | 0,15           | 4,0                                | 9,08  | 13,08 | 69 | 0,04 | 0,44 | 0,76  | 2,0  |
| 09                      | 5,7 | 0,37              | 1,8              | 1,9              | 0,15            | 0,30           | 3,0                                | 4,15  | 7,15  | 58 | 0,09 | 1,00 | 1,72  | 25,0 |
| 10                      | 5,0 | 0,33              | 1,8              | 1,5              | 0,18            | 0,22           | 3,8                                | 3,70  | 7,50  | 50 | 0,07 | 0,84 | 1,45  | 8,0  |
| 11                      | 5,2 | 0,24              | ---              | ---              | 0,12            | 0,15           | 2,0                                | 0,27  | 2,27  | 11 | 0,03 | 0,43 | 0,74  | 5,0  |
| 12                      | 5,4 | 0,92              | 2,6              | 1,7              | 0,30            | 0,57           | 3,5                                | 5,17  | 8,67  | 60 | 0,14 | 1,43 | 2,47  | 14,0 |
| 13                      | 4,5 | 0,47              | 0,7              | 0,3              | 0,16            | 0,26           | 5,8                                | 1,56  | 7,36  | 21 | 0,12 | 1,64 | 2,83  | 7,0  |
| 14                      | 5,5 | 0,74              | 2,9              | 3,0              | 0,16            | 0,40           | 4,0                                | 6,46  | 9,86  | 60 | 0,19 | 2,00 | 3,45  | 6,0  |
| 15                      | 5,5 | 0,16              | ---              | ---              | 0,12            | 0,14           | 1,3                                | 0,26  | 1,56  | 16 | 0,02 | 0,20 | 0,34  | 2,0  |
| 16                      | 4,7 | 0,19              | ---              | ---              | 0,10            | 0,05           | 1,7                                | 0,15  | 1,85  | 8  | 0,01 | 0,21 | 0,36  | 2,0  |
| 17                      | 5,0 | 0,18              | ---              | ---              | 0,12            | 0,04           | 2,2                                | 0,16  | 2,36  | 6  | 0,01 | 0,31 | 0,53  | 2,0  |
| 18                      | 5,6 | 0,23              | ---              | ---              | 0,12            | 0,10           | 2,3                                | 0,22  | 2,52  | 8  | 0,04 | 0,44 | 0,76  | 5,0  |
| 19                      | 3,8 | 0,20              | ---              | ---              | 0,04            | 0,04           | 4,5                                | 0,08  | 4,58  | 1  | 0,06 | 0,70 | 1,21  | 5,0  |
| 20                      | 5,0 | 0,16              | ---              | ---              | 0,04            | 0,11           | 2,3                                | 0,15  | 2,45  | 6  | 0,06 | 0,48 | 0,82  | 9,0  |
| 21                      | 3,8 | 0,28              | ---              | ---              | 0,03            | 0,04           | 3,8                                | 0,07  | 3,87  | 2  | 0,04 | 2,87 | 4,96  | 10,0 |
| 22                      | 5,8 | 0,20              | 4,1              | ---              | 0,10            | 0,43           | 2,4                                | 4,63  | 7,03  | 67 | 0,12 | ---  | ---   | 17,0 |
| 23                      | 5,0 | 0,16              | 1,0              | ---              | 0,10            | 0,06           | 5,9                                | 1,66  | 7,50  | 22 | 0,14 | 1,37 | 2,35  | 20,0 |

S = Soma de bases; T = Capacidade de troca de cátions;  
 V = Percentagem de saturação de bases; N = Nitrogênio total;  
 C = Carbono orgânico; P = Fósforo disponível;  
 M.O = Matéria orgânica; CE = Condutividade elétrica;  
 CE a 25°C

QUADRO 3 - Características físicas dos solos estudados

| Nº | Granulometria (%) |       |        | Classificação Textural | Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> ) | Umidade Gravimétrica (%) |        |
|----|-------------------|-------|--------|------------------------|--|--------------------------|--------|
|    | Areia             | Silte | Argila |                        |  | 1/3 atm                  | 15 atm |
| 01 | 33                | 25    | 42     | Argila                 | 1,14                                   | 23,2                     | 16,0   |
| 02 | 53                | 20    | 27     | Franco-argilo-arenoso  | 1,26                                   | 16,5                     | 11,0   |
| 03 | 46                | 41    | 13     | Franco                 | 1,40                                   | 16,3                     | 7,3    |
| 04 | 63                | 35    | 02     | Franco-arenoso         | 1,66                                   | 4,2                      | 1,3    |
| 05 | 43                | 45    | 12     | Franco                 | 1,13                                   | 20,4                     | 7,6    |
| 06 | 87                | 11    | 02     | Areia                  | 1,74                                   | 4,1                      | 0,9    |
| 07 | 72                | 17    | 11     | Franco-arenoso         | 1,49                                   | 11,9                     | 4,0    |
| 08 | 21                | 51    | 28     | Franco-argiloso        | 1,21                                   | 25,5                     | 10,2   |
| 09 | 71                | 18    | 11     | Franco-arenoso         | 1,31                                   | 15,7                     | 4,6    |
| 10 | 68                | 23    | 09     | Franco-arenoso         | 1,41                                   | 13,8                     | 1,4    |
| 11 | 87                | 10    | 03     | Areia                  | 1,53                                   | 4,4                      | 1,4    |
| 12 | 58                | 25    | 17     | Franco-arenoso         | 1,23                                   | 19,6                     | 9,1    |
| 13 | 59                | 24    | 17     | Franco-arenoso         | 1,23                                   | 18,2                     | 8,0    |
| 14 | 63                | 22    | 25     | Franco-arenoso         | 1,17                                   | 20,6                     | 6,9    |
| 15 | 81                | 13    | 06     | Areia-franca           | 1,63                                   | 6,7                      | 1,7    |
| 16 | 93                | 06    | 01     | Areia                  | 1,47                                   | 2,1                      | 1,4    |
| 17 | 91                | 08    | 01     | Areia                  | 1,61                                   | 2,5                      | 1,3    |
| 18 | 82                | 16    | 02     | Franco-arenoso         | 1,58                                   | 5,3                      | 2,1    |
| 19 | 76                | 12    | 12     | Franco-arenoso         | 1,32                                   | 8,7                      | 4,8    |
| 20 | 78                | 12    | 10     | Franco-arenoso         | 1,43                                   | 6,7                      | 4,2    |
| 21 | 79                | 14    | 07     | Areia-franca           | 1,33                                   | 6,0                      | 3,6    |
| 22 | 79                | 16    | 05     | Areia-franca           | 1,37                                   | 11,1                     | 5,0    |
| 23 | 75                | 14    | 11     | Franco-arenoso         | 1,30                                   | 10,9                     | 5,8    |

Depois do preparo dos vasos, foi feita a calagem, quando necessário, para elevar a saturação de bases a 70% ou para elevar o Ca + Mg trocáveis para 2 meq/100 g de solo. Foi aplicada uma mistura de CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub>, na relação molar de 3:1, que após homogeneização e umedecimento (\*/% atm) foram incubados por 30 dias. Em seguida procedeu-se a aplicação do enxofre, de acordo com os tratamentos, sendo os solos novamente homogeneizados, umedecidos (\*/% atm) e incubados por mais 10 dias, ocasião em que realizou-se o plantio.

capacidade, com 1,6 l de solo, distribuídos segundo um delineamento experimental inteiramente ao acaso. Em cada vaso a massa de solo variou de 1,8 a 2,8 kg, nas diferentes classes utilizadas, com água destilada, tendo o cuidado de não ultrapassar a capacidade de campo.

Após o desbaste todos os vasos foram adubados com

3.4.2 - Planta indicadora. O nitrogênio e o potássio foram parcelados em três doses iguais (4, 13 e 23 dias) e todo o fósforo e micronutrientes aplicados em uma única dose, juntamente com Usou-se como planta indicadora, o sorgo e forrageiro (*Sorghum vulgari* Pers.), cultivar EA 116, por tratar-se de uma cultivar produtiva, precoce e mais adaptável às condições climáticas do Estado do Ceará (CARMO & PINTO, 1979).

Um segundo cultivo foi mantido por mais 40 dias, ocasião em que realizou-se o 2º e último corte. O 2º cultivo também recebeu

3.4.3 - Instalação e condução do experimento (QUADROS 4 e 5). O material colhido dos dois cortes foi acondicionado em sacos de papéis e levados para o laboratório para secagem em estufa.

Depois do preparo dos vasos, foi feita a calagem, quando necessário, para elevar a saturação de bases a 70% ou para elevar o Ca + Mg trocáveis para 2 meq/100 g de solo. Foi aplicada uma mistura de  $\text{CaCO}_3$  +  $\text{MgCO}_3$ , na relação molar de 3:1, que após homogeneização e umedecimento ( $1/3$  atm) foram incubados por 30 dias. Em seguida procedeu-se a aplicação do enxofre, de acordo com os tratamentos, sendo os solos novamente homogenizados, umedecidos ( $1/3$  atm) e incubados por mais 10 dias, ocasião em que realizou-se o plantio.

QUADRO 4 Em cada vaso foram semeadas 10 sementes de sorgo, e seis dias após a germinação realizou-se o desbaste, deixando-se 5 plantas por vaso. Procedeu-se diariamente a irrigação dos vasos, com água destilada, tendo o cuidado de não ultrapassar a capacidade de campo.

Após o desbaste todos os vasos foram adubados com N, P, K e micronutrientes. O nitrogênio e o potássio foram parcelados em três doses iguais (6, 15 e 25 dias) e todo o fósforo e micronutrientes aplicados em uma única dose, juntamente com a primeira parcela de N e K (QUADROS 4 e 5).

Aos 40 dias após a semeadura procedeu-se o 1º corte da parte aérea, a 5 cm do solo, e foram coletadas amostras de solo de cada vaso para a determinação do S disponível. Um segundo cultivo foi mantido por mais 40 dias, ocasião em que realizou-se o 2º e último corte. O 2º cultivo também recebeu uma adubação de N, P, e K e micronutrientes (QUADROS 4 e 5). O material colhido dos dois cortes foi acondicionado em sacos de papéis e levados para o laboratório para secagem em estufa.

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

196\*\*\* (Ca)

\* A quantidade de adubo aplicado varia com a teor no solo.

\*\* Aplicado somente nos tratamentos com enxada.

\*\*\* Aplicado somente nos tratamentos sem enxada.

QUADRO 4- Macronutrientes, seus fertilizantes e doses aplicadas.

| Nutrientes | Quantidade Fertilizantes                          | Doses Total  |
|------------|---|--------------|
|            | (g/l)   | (mg/vaso)    |
| Nitrogênio | $\text{NH}_4 \text{NO}_3$                         | 380 (N)      |
|            | $\text{H}_2\text{BO}_3$                           | 1,40         |
| Fósforo    | $\text{NaH}_2\text{PO}_4$                         | 250-750* (P) |
|            | $\text{K}_2\text{Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 5,50         |
| Potássio   | KCl   | 120-400* (K) |
|            | $\text{ZnCl}_2$                                   | 6,00         |
| Enxofre    | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$         | 80*** (S)    |
|            | $\text{CuCl}_2$                                   | 2,00         |
| Cálcio     | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$         | 100*** (Ca)  |
|            | $\text{H}_2\text{FeO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 0,20         |
|            | $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$         | 100**** (Ca) |

\* A quantidade de adubo aplicado varia com o teor no solo.

\*\* Aplicado somente nos tratamentos com enxofre.

\*\*\* Aplicado somente nos tratamentos sem enxofre.

QUADRO 5 - Reagentes e quantidades empregadas na solução de micronutrientes.

3.5.1 - No solo

| Reagente              | Quantidade do adubo | Nutriente obtido      |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| a) Acetato            | (g/l)               | (-mg/vaso/aplicação)- |
| $H_2BO_3$             | 1,60                | 1,40                  |
| $MnCl_2 \cdot 4H_2O$  | 3,96                | 5,50                  |
| $ZnCl_2$              | 2,50                | 6,00                  |
| $CuCl_2$              | 0,62                | 2,00                  |
| $H_2MoO_4 \cdot H_2O$ | 0,74                | 0,29                  |

b) Solução de Monofosfato de cálcio em água com 500 ppm de P (FOX et alii, 1964). Para este extrator utilizou-se a relação solo:solução de 1:5 (20 g de solo para 100 ml do extrator) agitação por 30 minutos e decantação por 12 a 15 horas. Os suspensões foram retiradas 40 ml, que foram concentrados por evaporação a 120°C até secar. O resíduo foi digerido em placa quente até o estágio de fumaça branca, onde a

### 3.5 - Parâmetros avaliados

Continuou-se a digestão por mais 15 minutos. Após esfriar adicionou-se 10 ml de água destilada e 1 ml de solução de goma arábica em ácido acético, preparada

3.5.1 - No solo (método de MASSOUME & CURNFIELD (1963)). A determinação turbidimétrica do S seguiu o método de CHESNIR & YIEN (1958), após digestão ácida para destruição da matéria orgânica. O enxofre disponível, nos solos estudados, foi obtido por meio de dois extratores:

a) Acetato de amônio 1N pH 7 (BARDSLEY & LANCASTER, 1960). Utilizou-se a relação solo:solução de 1:2,5 (10 g de solo e 25 ml de solução extratora), agitação por 30 minutos, que no final do tempo adicionou-se 0,25 g de carvão ativado e agitou-se por mais 3 minutos. A seguir filtrou-se a suspensão e transferiu-se uma aliquota de 10 ml para tubos de leitura, aos quais foi adicionado 1ml de HCl 6N com 20 ppm de S e 0,5 g de cloreto de bário. A determinação turbidimétrica do S de amostras e padrões foi feita no intervalo de 2 a 8 minutos após a dissolução do cloreto de bário, a um comprimento de onda de 420 nm. Esta metodologia foi detalhadamente descrita por (BARDSLEY & LANCASTER, 1960).

b) Solução de Monofosfato de cálcio em água com 500 ppm de P (FOX et alii, 1964). Para este extrator utilizou-se a relação solo:solução de 1:5 (20 g de solo para 100 ml do extrator) agitação por 30 minutos e decantação por 12 a 15 horas. Da suspensão foram retirados 40 ml, que foram concentrados por evaporação a 120°C até secar. O resíduo foi digerido em placa quente até o estágio de fumaça branca, onde a

temperatura foi reduzida e continuou-se a digestão por mais 15 minutos. Após esfriar adicionou-se 10 ml de água destilada e 1 ml da solução de goma acácia em ácido acético, preparada conforme a descrição de MASSOUME & CORNFIEL (1963). A determinação turbidimétrica do S seguiu o método de CHESNIN & YIEN (1950), após digestão ácida para destruição da matéria orgânica para clarificação dos extratos.

### 3.5.3 - Nível crítico de S

#### 3.5.2 - Na planta

a) No solo foi determinado pelo método gráfico de CATE & Na) Matéria seca: a produção de matéria seca da parte aérea do sorgo (g/vaso) em todos os tratamentos e nos dois cortes foi obtida após secagem, até peso constante, a 60°C. (b) Produção relativa (PR) e incremento de produção (IP) foram obtidos para cada solo pelas fórmulas: aplicação de S, como fertilizante.

Produção tratamento sem enxofre pelo método gráfico de PR = ----- x 100 IP = 100 - PR  
na pl. Produção tratamento com enxofre produção relativa 100 dos 23 solos estudados.

#### c) Teor e absorção de nutrientes

Na matéria seca moída e passada em peneira de 0,84 mm de abertura foram determinados: em extrato nítrico percló-



rico o S por turbidimetria, o P por colorimetria e K por fotometria de chama, e em extrato sulfúrico o N foi determinado por destilação semi-micro-Kjeldahl (MALAVOLTA, 1989). A absorção dos nutrientes analisados foi obtida pela fórmula: mg do nutriente extraído = % do nutriente x matéria seca (g/vaso) x 10. Os teores de N e P pelos teores de S respectivamente, todos expressos em %. Para a relação N/S, foi obtido o nível crítico, seguindo-se o método gráfico de CATE & NELSON (1965).

3.5.3 - Nível crítico de S na abscissa e a produção relativa na ordenada.

a) No solo: foi determinado pelo método gráfico de CATE & NELSON (1965), utilizando-se os dados de S disponível (X) e produção relativa (Y). O método baseia-se na divisão da análise do solo em duas classes: alta probabilidade de resposta (produção relativa abaixo de 80%) e baixa probabilidade de resposta (produção relativa acima de 80%) à aplicação de S, como fertilizante. Os dados de S, N e P e S, N e P absorvidos e suas médias são:

b) Na planta: foi determinado pelo método gráfico de CATE & NELSON (1965), utilizando-se os dados dos teores de S na planta do tratamento sem S (X) e produção relativa (Y) dos 23 solos estudados.

### 3.5.4 - Relações N/S e P/S

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A relação N/S e P/S da matéria seca produzida dos tratamentos que não receberam S, foram obtidas dividindo-se os teores de N e P pelos teores de S respectivamente, todos expressos em %. Para a relação N/S, foi obtido o nível crítico, seguindo-se o método gráfico de CATE & NELSON (1965), plotando-se a relação N/S na abcissa e a produção relativa na ordenada.

Os resultados das determinações do extrator 3.6 - Análise estatística

De acordo com o delineamento estatístico foram realizadas a análise de variância e o teste F para os parâmetros matéria seca, teor de S, N e P e S, N e P absorvidos e suas médias comparadas pelo teste de Tuckey 5%.

As relações entre os diversos parâmetros avaliados no solo e na planta foram analisados por correlação linear simples. As diferenças nas quantidades renovadas podem ser explicadas através da natureza química do extrator, das características intrínsecas dos solos (BISSANI, 1985) e das formas em que o mesmo se encontra nos solos. Para o extrator  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , os teores de S variaram de 1,4 a 8,62 ppm, com uma média geral

QUADRO 4 - Teor de enxofre disponível determinado pelos extratores  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e  $\text{NH}_4\text{OAc}$  nos 23 solos estudados, antes (solo natural) e depois do corte, dos tratamentos sem S (So)

#### 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 - Enxofre disponível Enxofre disponível

| Solo               | $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ |        | $\text{NH}_4\text{OAc}$ |         |
|--------------------|--------------------------------------|--------|-------------------------|---------|
|                    | Antes                                | Depois | Antes                   | Depois* |
| 01                 | 5,2                                  | 2,5    | 4,1                     |         |
| 4.1.1 - Extratores |                                      | 1,7    | 2,4                     |         |
| 03                 | 4,3                                  | 0,8    | 2,7                     |         |
| 04                 | 2,0                                  | 1,8    | 1,6                     |         |
| 05                 | 4,5                                  | 3,2    | 4,1                     |         |
| 06                 | 2,3                                  | 1,4    | 1,8                     |         |
| 07                 | 5,2                                  | 2,9    | 3,4                     |         |
| 08                 |                                      |        |                         |         |
| 09                 | 3,2                                  | 2,2    | 2,3                     |         |
| 10                 | 1,7                                  | 0,5    | 1,2                     |         |
| 11                 | 7,1                                  | 3,9    | 5,9                     |         |
| 12                 | 2,3                                  | 1,9    | 1,7                     |         |
| 13                 | 1,4                                  | 0,3    | 1,1                     |         |
| 14                 | 2,0                                  | 1,1    | 1,7                     |         |
| 15                 | 8,8                                  | 2,7    | 4,3                     |         |
| 16                 | 4,8                                  | 1,9    | 4,2                     |         |
| 17                 | 5,8                                  | 2,5    | 4,8                     |         |
| 18                 | 4,1                                  | 2,8    | 3,3                     |         |
| 19                 |                                      |        |                         |         |
| 20                 |                                      |        |                         |         |
| 21                 |                                      |        |                         |         |
| 22                 |                                      |        |                         |         |
| 23                 |                                      |        |                         |         |
| Média              |                                      |        |                         |         |

Os resultados das determinações do enxofre disponível nos solos, empregando os extratores: monofosfato de cálcio com 500 ppm de P e acetato de amônio 0,5N em HOAC 0,25 N, antes e depois do cultivo, são apresentados no QUADRO 6.

Observa-se, no QUADRO 6, que o teor de S disponível obtido pelos dois extratores, apresentaram variações tanto entre as várias classes de solos como para os solos da mesma classe. O que pode ser explicado, uma vez que trata-se de métodos de extração diferentes, logo as quantidades removidas do elemento também diferem. As diferenças nas quantidades removidas podem ser explicadas através da natureza química do extrator, das características intrínsecas dos solos (BISSANI, 1985) e das formas em que o mesmo se encontra nos solos. Para o extrator  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , os teores de S variaram de 1,4 a 8,62 ppm, com uma média geral

QUADRO 6 - Teor de enxofre disponível determinado pelos extratores  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e  $\text{NH}_4\text{OAc}$  nos 23 solos estudados, antes (solo natural) e depois do 1º corte, dos tratamentos sem S (So)

extratores, os limites inferior e superior de cada amplitude de variação dos teores de S disponível, corresponderam aos

respectivamente, resultados Enxofre disponível em obtidos por

| Nº        | Enxofre disponível                   |        |                         |         |
|-----------|--------------------------------------|--------|-------------------------|---------|
|           | ppm                                  |        | ppm                     |         |
| Solo      | $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ |        | $\text{NH}_4\text{OAc}$ |         |
|           | Antes                                | Depois | Antes                   | Depois* |
| 01        | 5,2                                  | 2,5    | 4,1                     |         |
| 02        | 2,9                                  | 1,9    | 2,4                     |         |
| 03        | 4,3                                  | 0,8    | 2,7                     |         |
| 04        | 2,0                                  | 1,8    | 1,6                     |         |
| 05        | 4,5                                  | 3,2    | 4,1                     |         |
| 06        | 2,3                                  | 1,4    | 1,8                     |         |
| 07        | 5,2                                  | 2,9    | 3,4                     |         |
| 08        | 5,6                                  | 2,8    | 4,9                     |         |
| 09        | 3,2                                  | 2,2    | 2,5                     |         |
| 10        | 2,9                                  | 1,8    | 2,7                     |         |
| 11        | 1,7                                  | 0,6    | 1,2                     |         |
| 12        | 5,9                                  | 2,9    | 4,1                     |         |
| 13        | 7,1                                  | 3,8    | 5,9                     |         |
| 14        | 6,0                                  | 1,1    | 5,9                     |         |
| 15        | 2,3                                  | 1,9    | 1,9                     |         |
| 16        | 1,4                                  | 0,3    | 1,1                     |         |
| 17        | 2,0                                  | 1,1    | 1,7                     |         |
| 18        | 2,1                                  | 1,7    | 2,2                     |         |
| 19        | 8,6                                  | 2,7    | 6,9                     |         |
| 20        | 4,0                                  | 1,5    | 2,6                     |         |
| 21        | 4,8                                  | 1,9    | 4,2                     |         |
| 22        | 4,9                                  | 2,5    | 3,1                     |         |
| 23        | 5,8                                  | 2,5    | 4,8                     |         |
| Média     | 4,1                                  | 2,0    | 3,3                     |         |
| Amplitude | 7,2                                  | 3,5    | 5,7                     |         |

\* - Os valores de S extraído com  $\text{NH}_4\text{OAc}$  foram desprezíveis indicados no QUADRO 6. A redução observada após o cultivo, é explicada pelo consumo do referido nutriente pelas plantas de sorgo.

De maneira geral o extrator monofosfato de cálcio apresentou teores de S disponível superiores aos extraídos pelo acetato de amônia, em torno de 20%. A superioridade do

de 3,77 ppm. Para o extrator acetato de amônio estes teores variaram de 1,2 a 6,9 ppm, com média de 4,1 ppm. Para ambos extratores, os limites inferior e superior de cada amplitude de variação dos teores de S disponível, corresponderam aos mesmos solos, AQd4 (solo nº 11) e LVD7 (solo nº 19) respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por FONTES (1982a), em 12 latossolos de Minas Gerais, usando três extratores químicos. Os teores de enxofre disponível, dos solos estudados, obtido com o extrator monofosfato de cálcio encontram-se próximos daqueles obtidos por TABATAIBAI & BREMNER (1972) em solos de Iowa (E.U.A.) que apresentou média de 5,6 ppm e daqueles obtidos por NASCIMENTO & MORELLI (1980) em solos do Rio Grande do Sul, cujos os teores de S variaram de 2,1 a 10,3 ppm, com média de 5,7 ppm.

Após o 1º cultivo todos os solos apresentaram menor teor de S disponível, em ambos extratores, em relação ao teor obtido antes do mesmo. Para o extrator  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  os valores de S variaram de 0,3 a 3,8 ppm de S, com média de 2,0 ppm. Com extrator  $\text{NH}_4\text{OAc}$ , os valores de S obtido além de baixos, foram pouco consistentes por encontrar-se próximos ao limite de sensibilidade do método, razão pela qual não foram indicados no QUADRO 6. A redução observada após o cultivo, é explicada pelo consumo do referido nutriente pelas plantas de sorgo. 13,10% e o P disponível, de 1 a 73 ppm. Quanto à granulação de maneira geral o extrator monofosfato de cálcio apresentou teores de S disponível superiores aos extraídos pelo acetato de amônia, em torno de 20%. A superioridade do

monofosfato de cálcio é explicada, visto que o íon fosfato apresenta maior poder em deslocar o sulfato adsorvido, que o íon acetato, determinando maiores valores de sulfato extraíveis (AYLMORE et alii, 1967; PROBERT, 1976).

devido a variada composição mineralógica dos solos, as condições de uso e manejo a que foram submetidos e a maioria

4.1.2 - Os Relação entre o teor de enxofre disponível concentrado e características do solo. variação.

O teor de argila e hidrogênio trocável ( $H^+$ ) foram as únicas propriedades que apresentaram uma correlação positiva. Os solos utilizados, no que diz respeito às características físicas e químicas, apresentaram grande variabilidade entre si (QUADROS 2 e 3). Considerando a percentagem de saturação de bases (V) como índice de disponibilidade em macronutrientes destes solos, verificou-se que o valor médio encontrado foi de 37,40% e variou de 1 a 86%. Este fato traduz, de modo geral, a pobreza destes solos em cátions trocáveis e conseqüentemente, em nutrientes para as plantas. Entre as características que apresentaram grande amplitude de variação, estão algumas que supostamente apresentam ligação com a capacidade de suprimento de S disponível pelos solos como o pH, que variou de 3,8 a 6,5, o teor de argila, de 1 a 42%, o teor de matéria orgânica, de 0,10 a 13,10% e o P disponível, de 1 a 73 ppm. Quanto a granulometria, verificou-se que a fração areia ocorreu em maior proporção, variando entre 21 a 93%. Importantes na fração areia QUADRO 7 são apresentados os coeficientes de

correlação linear resultantes das relações entre enxofre disponível por dois extratores e algumas propriedades do solo. Observa-se que os coeficientes de correlações, para a maioria das propriedades dos solos não foram significativos, devido a variada composição mineralógica dos solos, as condições de uso e manejo a que foram submetidos e a maioria dos solos apresentarem os valores de suas propriedades concentradas em uma estreita faixa de variação.

O teor de argila e hidrogênio trocável ( $H^+$ ) foram as únicas propriedades que apresentaram uma correlação positiva estatisticamente significativa ao nível de 1%. Não foi encontrada correlação entre a matéria orgânica e o enxofre disponível, indicando que outras fontes de S colaboraram para a determinação dos teores encontrados. De acordo com KAMPFER & ZEHLER (1967), os minerais primários e os colóides dos solos (óxido de Fe e Al e argila do tipo 1:1) adsorvem o  $SO_4^{2-}$ , tornando-se a principal fonte de reserva de S para as plantas, pois além de proteger contra as perdas por lixiviação, tal adsorção é muito fraca (adsorção não específica ou trocável), podendo o sulfato passar facilmente para a solução do solo e ser absorvido pelas raízes das plantas. Isto explica a correlação positiva e significativa encontrada entre o enxofre disponível e os teores de argila e  $H^+$  trocável, uma vez que este último combina-se diretamente com os óxidos presentes nos solos e a caulinita, um argilo mineral, está sempre presente em quantidades importantes na fração argila dos solos.

QUADRO 7 - Coeficiente de correlação e equações de regressão linear do enxofre disponível (Y), por dois extractores, monofosfato de cálcio (MC) e acetato de amônio (AA) com algumas propriedades do solo.

A produção de matéria seca, a percentagem (%) de S

| Propriedade           | Equação   | r                  |
|-----------------------|---|--------------------|
| % de argila           | Y= 2,17 + 0,09 X (MC)<br>Y= 1,36 + 0,11 X (AA)  | 0,51**<br>0,54**   |
| % de matéria orgânica | Y= 3,26 + 0,07 X (MC)<br>Y= 2,30 + 0,16 X (AA)  | 0,24ns<br>0,38ns   |
| pH                    | Y= 8,95 - 0,99 X (MC)<br>Y= 7,89 - 0,85 X (AA)  | -0,27ns<br>-0,31ns |
| Soma de bases         | Y= 3,55 + 0,07 X (MC)<br>Y= 3,01 + 0,17 X (AA)  | 0,25ns<br>0,34ns   |
| H <sup>+</sup>        | Y= 0,12 + 0,57 X (MC)<br>Y= 0,17 + 1,39 X (AA)  | 0,85**<br>0,89**   |
| Al <sup>+++</sup>     | Y= 0,39 + 0,04 X (MC)<br>Y= 2,57 + 1,45 X (AA)  | 0,30ns<br>0,30ns   |
| V%                    | Y= 31,86 + 1,02 X (MC)<br>Y= 3,28 + 0,004X (AA) | 0,10ns<br>0,07ns   |

ns - não significativo

\*\* - significativo ao nível de 1%

A adubação com S influenciou a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo de modo variado nos diversos solos estudados. Nos tratamentos que não receberam enxofre, a matéria seca produzida variou de 3,38 a 13,64 g/vaso e de 5,03 a 12,81 g/vaso para o 1º e 2º corte respectivamente. Nos solos adubados com S a produção variou de 7,82 a 13,91 g/vaso no 1º corte e de 11,57 a 27,62 g/vaso no 2º corte (QUADRO 8). Associada a uma menor produção de matéria seca, observou-se que nos tratamentos



4.2 - Resposta das plantas a adição de S elemento das folhas, que iniciou-se nas mais jovens e generalizou-se a todas as folhas no decorrer do cultivo, sintomas característicos de deficiência. A produção de matéria seca, a percentagem (%) de S no tecido e o S absorvido nos dois cortes sucessivos são apresentados no QUADRO 8. A partir desses dados, foi feita a análise de variância para os dois cortes separadamente (APÊNDICES 2 e 3) que evidenciou pelo teste F ao nível de 5%, respostas significativas às doses de S (tratamentos), aos solos e à interação doses versus solos. Esse resultado justificou o desdobramento da interação em doses de S (tratamentos com e sem S) dentro de cada solo, verificada através do teste de Tuckey ao nível de 5%. de S a 74% e apenas dois solos apresentaram valores inferiores a 28% (QUADRO 9). A ausência de resposta ou o baixo incremento de produção

4.2.1 - Rendimento de matéria seca. Os dados durante o 1º corte nos tratamentos sem S, podem ser explicados pela existência de uma reserva natural de S disponível nos solos que praticam. A adubação com S influenciou a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo de modo variado nos diversos solos estudados. Nos tratamentos que não receberam enxofre, a matéria seca produzida variou de 3,38 a 13,64 g/vaso e de 5,03 a 16,81 g/vaso para o 1º e 2º corte respectivamente. Nos solos adubados com S a produção variou de 7,02 a 13,91 g/vaso no 1º corte e de 11,57 a 27,62 g/vaso no 2º corte (QUADRO 8). Associada a uma menor produção de matéria seca, observou-se que nos tratamentos

sem enxofre as plantas exibiram amarelecimento das folhas, que iniciou-se nas mais jovens e generalizou-se a todas as folhas no decorrer do cultivo, sintomas característicos de deficiência deste nutriente (JORDAN & ENSMINGER, 1958; MENGEL & KIRKBY, 1982).

Entre os 23 solos estudados, apenas 7 responderam a aplicação de S no 1º corte, destacando-se o solo Podzólico Vermelho Amarelo (solo nº 4) da micro região de Limoeiro do Norte, que teve sua produção dobrada. Neste corte o incremento de produção relativa de matéria seca variou de 0 a 63%, sendo que a maioria dos solos (80%) apresentou, para este parâmetro, valores inferiores a 20%. No 2º corte, o incremento de produção relativa variou de 8 a 74% e apenas dois solos apresentaram valores inferiores a 20% (QUADRO 9). A ausência de resposta ou o baixo incremento de produção relativa observado, em alguns solos, durante o 1º corte nos tratamentos sem S, podem ser explicados pela existência de uma reserva natural de S disponível nos solos que praticamente supriu a necessidade da cultura durante esse período. Sendo que a mineralização do S orgânico e a dessorção do sulfato pela elevação do pH, após a calagem, também podem ter contribuído para a disponibilidade de S, levando a estes resultados.

Pelo os dados do QUADRO 8, observou-se que houve um aumento na produção de matéria seca do 1º para o 2º corte, independentemente do tratamento. O aumento do sistema radicular ao longo dos dois cortes e conseqüentemente da

QUADRO 8 - Rendimento de matéria seca, teor de S no tecido e quantidade de S absorvida por plantas de sorgo forrageiro nos tratamentos sem enxofre (S<sub>0</sub>) e com enxofre (S<sub>1</sub>) dos solos estudados.

| Solo   | Matéria seca   |                |                |                | S no tecido    |                |                |                | S absorvido    |                |                |                |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|        | 1º corte       |                | 2º corte       |                | 1º corte       |                | 2º corte       |                | 1º corte       |                | 2º corte       |                |
|        | S <sub>0</sub> | S <sub>1</sub> | S <sub>0</sub> | S <sub>1</sub> | S <sub>0</sub> | S <sub>1</sub> | S <sub>0</sub> | S <sub>1</sub> | S <sub>0</sub> | S <sub>1</sub> | S <sub>0</sub> | S <sub>1</sub> |
| g/vaso |                |                |                | (Z)            |                |                |                | (mg/vaso)      |                |                |                |                |
| 01     | 10,73          | 11,27          | 8,50           | 17,17          | 0,07           | 0,13           | 0,02           | 0,17           | 7,51           | 14,65          | 1,70           | 29,19          |
| 02     | 9,70           | 10,80          | 9,73           | 18,57          | 0,04           | 0,11           | 0,04           | 0,14           | 3,88           | 11,88          | 3,90           | 26,00          |
| 03     | 10,43          | 11,87          | 6,40           | 14,50          | 0,02           | 0,14           | 0,03           | 0,17           | 2,00           | 16,62          | 1,92           | 24,65          |
| 04     | 3,38           | 9,22           | 5,63           | 11,57          | 0,01           | 0,11           | 0,03           | 0,17           | 0,34           | 10,14          | 1,69           | 19,66          |
| 05     | 11,76          | 9,25           | 16,56          | 18,04          | 0,11           | 0,15           | 0,06           | 0,18           | 12,93          | 13,86          | 9,93           | 32,47          |
| 06     | 6,64           | 8,11           | 5,20           | 16,24          | 0,04           | 0,12           | 0,02           | 0,13           | 2,65           | 9,73           | 1,04           | 21,11          |
| 07     | 10,40          | 11,19          | 7,75           | 15,65          | 0,06           | 0,12           | 0,05           | 0,15           | 6,29           | 12,13          | 3,87           | 23,40          |
| 08     | 9,28           | 10,16          | 13,60          | 19,52          | 0,04           | 0,08           | 0,05           | 0,12           | 3,71           | 8,13           | 6,80           | 23,42          |
| 09     | 10,61          | 11,55          | 12,10          | 21,11          | 0,09           | 0,14           | 0,03           | 0,13           | 9,55           | 16,17          | 3,63           | 27,44          |
| 10     | 12,04          | 12,14          | 12,98          | 20,92          | 0,08           | 0,12           | 0,03           | 0,17           | 9,63           | 14,57          | 3,90           | 35,56          |
| 11     | 8,53           | 12,00          | 6,36           | 22,05          | 0,05           | 0,11           | 0,03           | 0,14           | 4,26           | 13,20          | 1,91           | 30,87          |
| 12     | 12,19          | 10,09          | 16,81          | 23,98          | 0,04           | 0,14           | 0,03           | 0,16           | 4,88           | 14,13          | 5,04           | 38,37          |
| 13     | 13,64          | 13,67          | 16,70          | 22,72          | 0,16           | 0,18           | 0,08           | 0,18           | 21,02          | 24,60          | 13,36          | 40,90          |
| 14     | 13,56          | 13,91          | 12,28          | 23,04          | 0,06           | 0,14           | 0,03           | 0,16           | 6,62           | 19,47          | 3,68           | 36,86          |
| 15     | 7,09           | 9,94           | 4,71           | 17,53          | 0,04           | 0,11           | 0,02           | 0,18           | 2,83           | 10,93          | 0,90           | 31,55          |
| 16     | 7,57           | 10,07          | 4,18           | 16,11          | 0,05           | 0,14           | 0,05           | 0,16           | 3,78           | 14,10          | 2,09           | 25,77          |
| 17     | 9,74           | 10,28          | 5,03           | 17,81          | 0,05           | 0,13           | 0,04           | 0,15           | 4,87           | 13,36          | 2,01           | 26,72          |
| 18     | 7,56           | 11,19          | 7,11           | 20,92          | 0,05           | 0,08           | 0,05           | 0,13           | 3,78           | 8,95           | 3,56           | 27,20          |
| 19     | 7,50           | 7,02           | 15,96          | 18,60          | 0,15           | 0,13           | 0,08           | 0,16           | 11,25          | 9,13           | 12,77          | 29,89          |
| 20     | 10,61          | 8,73           | 15,14          | 21,92          | 0,06           | 0,13           | 0,08           | 0,17           | 6,36           | 11,35          | 12,11          | 37,26          |
| 21     | 9,27           | 10,03          | 11,91          | 22,26          | 0,11           | 0,13           | 0,08           | 0,17           | 10,19          | 13,04          | 9,53           | 37,84          |
| 22     | 13,27          | 12,63          | 14,54          | 21,13          | 0,05           | 0,15           | 0,04           | 0,19           | 6,63           | 18,95          | 5,84           | 40,15          |
| 23     | 9,97           | 9,78           | 12,08          | 27,62          | 0,10           | 0,12           | 0,08           | 0,12           | 9,97           | 11,74          | 9,66           | 33,14          |
| média  | 9,80           | 10,64          | 10,48          | 19,50          | 0,07           | 0,13           | 0,05           | 0,15           | 6,77           | 13,00          | 5,25           | 30,40          |
| dmS    | 1,24           |                | 3,06           |                | 0,01           |                | 0,01           |                | 1,94           |                | 5,25           |                |

QUADRO 9 - Produção relativa e incremento de produção apresentados por plantas de sorgo forrageiro concorrido para cultivado em 23 solos do Estado do Ceará.

| Solo<br>Nº | Produção relativa |          | Incremento de produção |          |
|------------|-------------------|----------|------------------------|----------|
|            | 1º corte          | 2º corte | 1º corte               | 2º corte |
|            | ----- (%) -----   |          | ----- (%) -----        |          |
| 01         | 95                | 50       | 5                      | 50       |
| 02         | 90                | 52       | 10                     | 48       |
| 03         | 88                | 44       | 12                     | 56       |
| 04         | 37                | 49       | 63                     | 51       |
| 05         | 127               | 92       | ---                    | ---      |
| 06         | 82                | 32       | 18                     | 68       |
| 07         | 94                | 50       | 6                      | 50       |
| 08         | 91                | 70       | 9                      | 30       |
| 09         | 92                | 57       | 8                      | 43       |
| 10         | 99                | 62       | 1                      | 38       |
| 11         | 71                | 29       | 29                     | 71       |
| 12         | 121               | 70       | ---                    | 30       |
| 13         | 100               | 74       | ---                    | ---      |
| 14         | 97                | 53       | 3                      | 47       |
| 15         | 71                | 27       | 29                     | 73       |
| 16         | 75                | 26       | 25                     | 74       |
| 17         | 95                | 28       | 5                      | 72       |
| 18         | 68                | 34       | 32                     | 66       |
| 19         | 106               | 85       | ---                    | 15       |
| 20         | 122               | 69       | ---                    | 31       |
| 21         | 92                | 63       | 8                      | 37       |
| 22         | 105               | 69       | ---                    | 31       |
| 23         | 102               | 44       | ---                    | 56       |
| média      | 92                | 54       | 12                     | 47       |

das plantas no 1º corte. No segundo corte, os solos, sua relacionam produção relativa e S disponível (FIGURAS 3 e 5), apresentam-se concentrados na faixa de 20 a 70% de produção relativa (maior resposta), devido a redução no teor de S disponível para valores inferiores ao nível crítico, em virtude do seu consumo durante o 1º cultivo e possíveis perdas por lixiviação, justificando a alta resposta observada nesse corte.

rea de absorção de nutrientes pela raiz podem ter concorrido para estes resultados.

#### 4.2.2 - Nível crítico

Quando relacionada a produção relativa (QUADRO 9) com o S disponível antes do cultivo do sorgo (QUADRO 6) para obtenção do nível crítico, seguindo o modelo gráfico de CATE & NELSON (1965), verificou-se que para ambos extratores e nos dois cortes, o nível crítico foi 2,25 ppm de S no solo (FIGURAS 2, 3, 4 e 5). De acordo com BLAIR (1979) este valor (2,2 ppm), representa o teor de S disponível no solos abaixo do qual a probabilidade de deficiência do nutriente é grande, com conseqüente resposta à adubação. Na análise do QUADRO 6 e das FIGURAS 2 e 4, verifica-se que em torno de 72% dos solos avaliados apresentam teores de S disponível acima do nível crítico estabelecido, justificando a baixa resposta das plantas no 1º corte. No segundo corte, os pontos que relacionam produção relativa e S disponível (FIGURAS 3 e 5), apresentam-se concentrados na faixa de 20 a 70% de produção relativa (maior resposta), devido a redução no teor de S disponível para valores inferiores ao nível crítico, em virtude do seu consumo durante o 1º cultivo e possíveis perdas por lixiviação, justificando a alta resposta observada nesse corte.

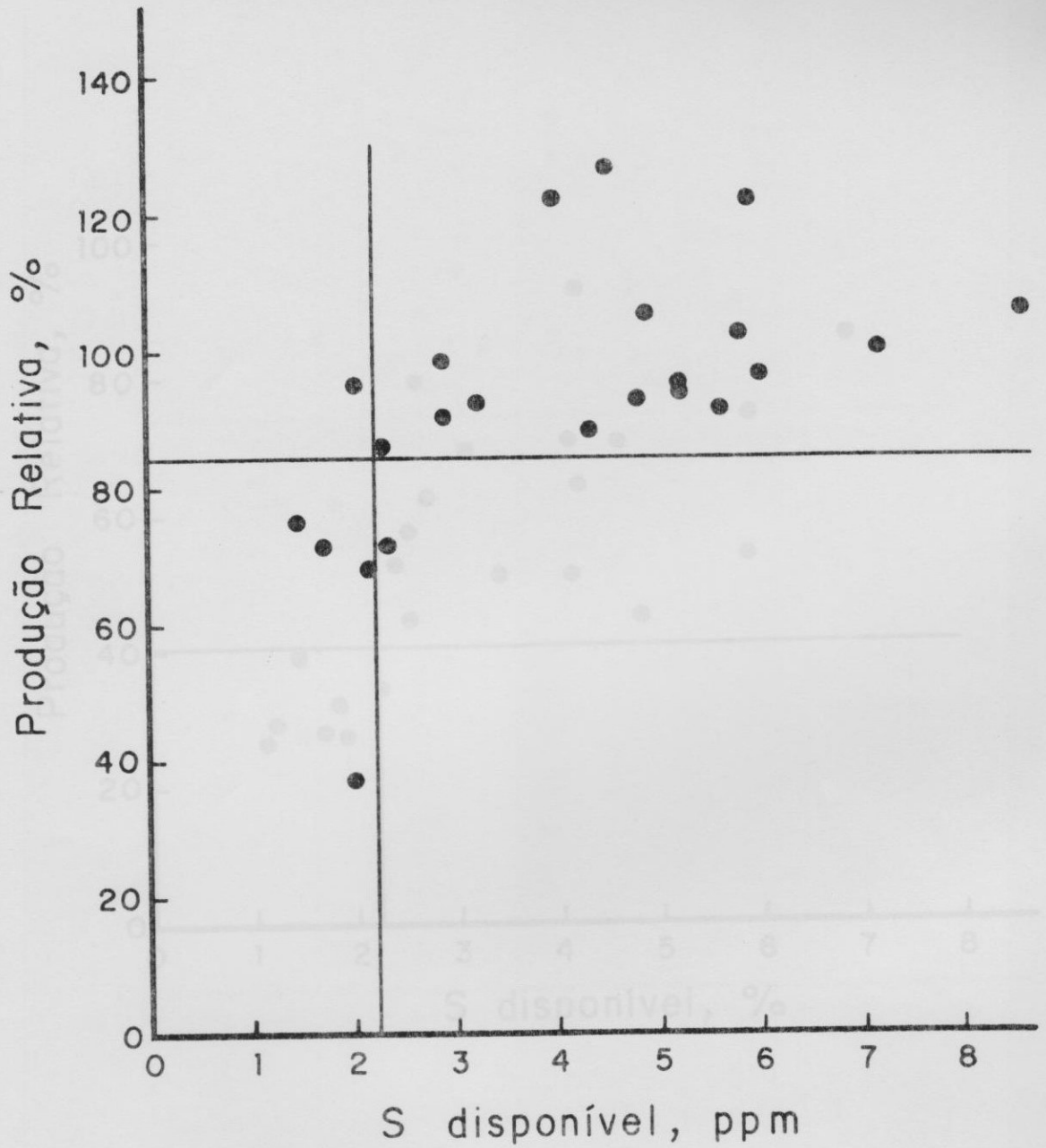


FIGURA 2 - Nível crítico de S disponível obtido com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , no primeiro corte do sorgo forrageiro.

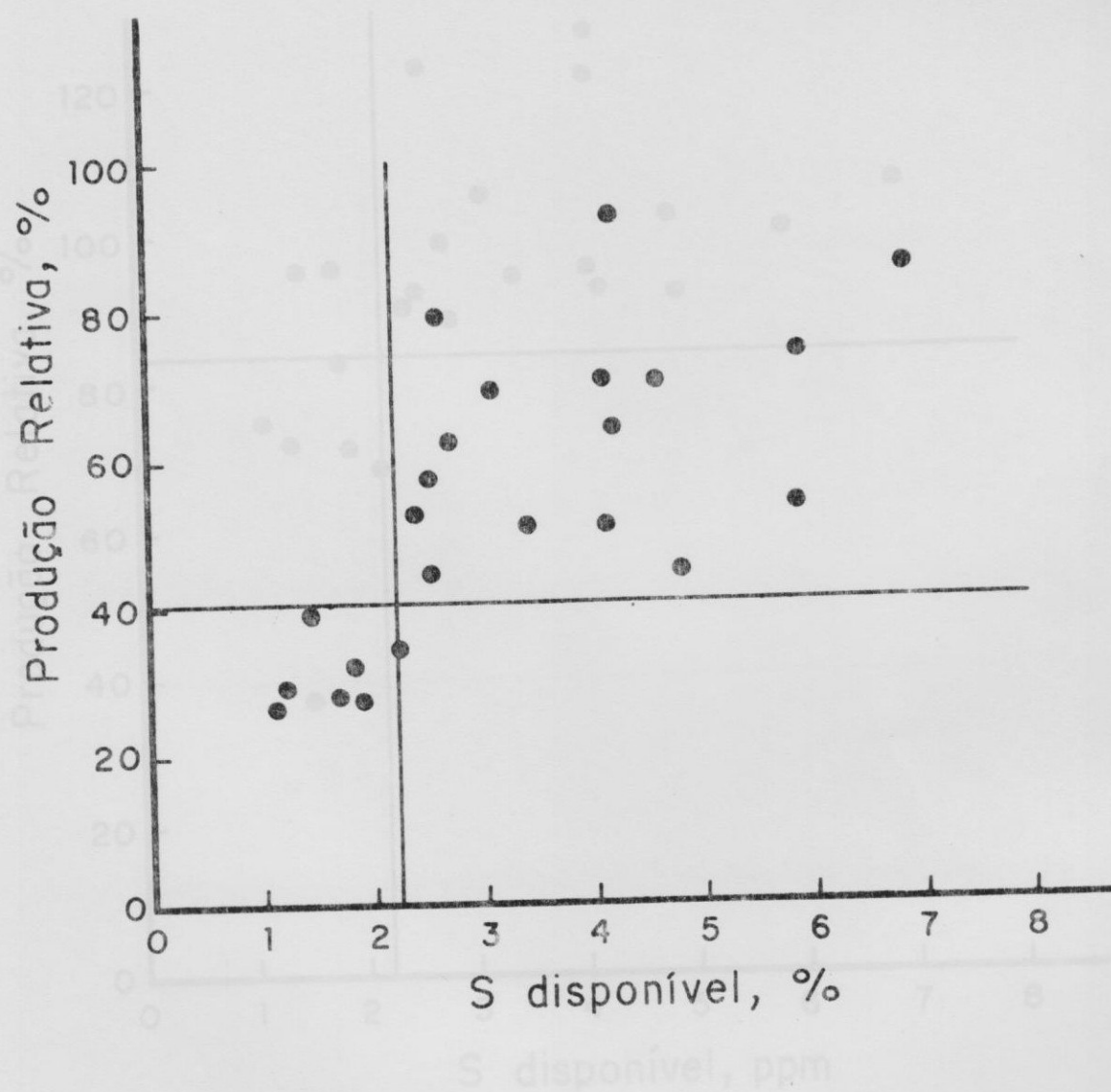


FIGURA 3 - Nível crítico de S disponível obtido com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , no primeiro corte do sorgo forrageiro.

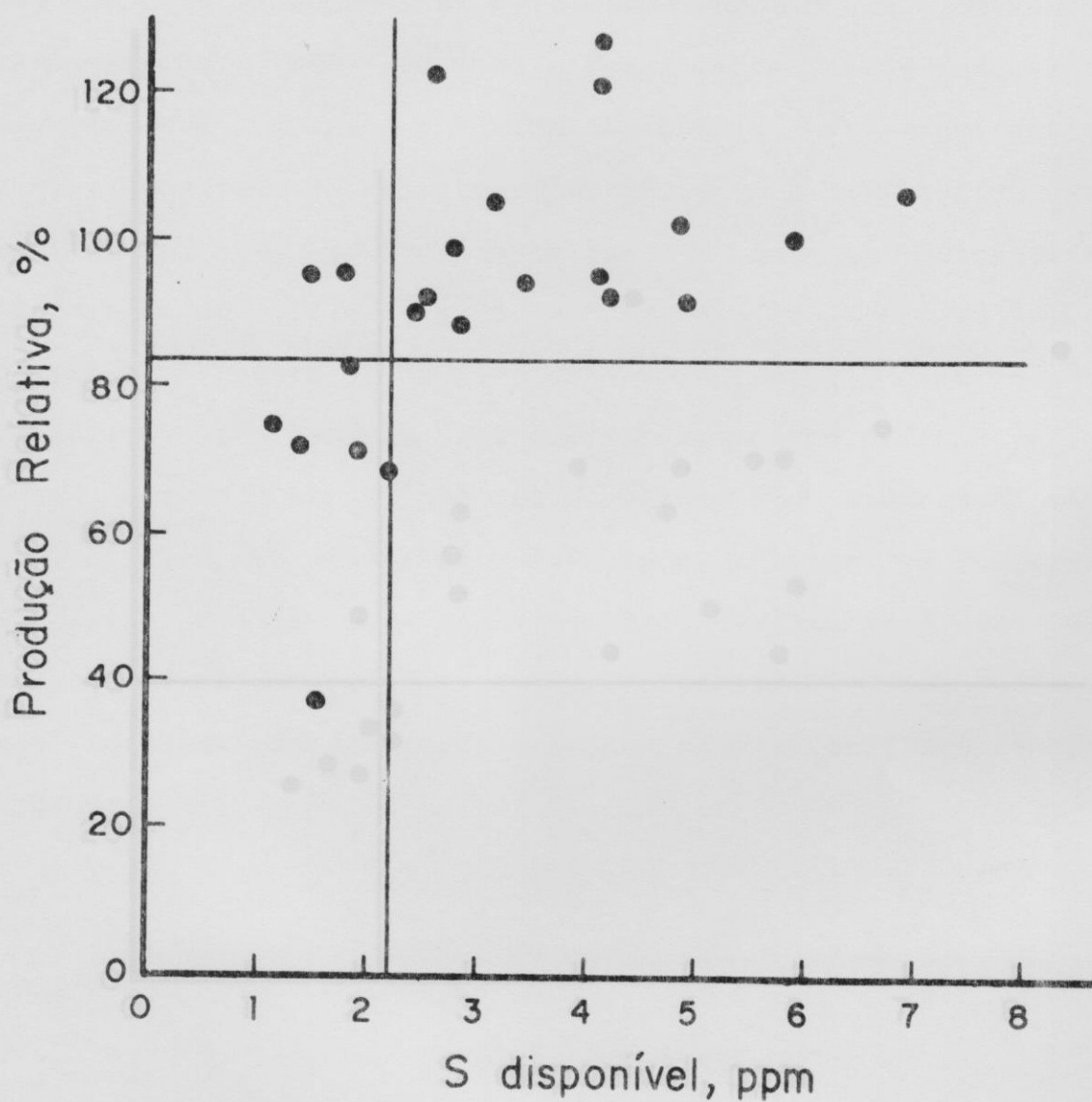


FIGURA 4 - Nível crítico de S disponível obtido com  $\text{NH}_4\text{OAc}$ , no primeiro corte do sorgo forrageiro.



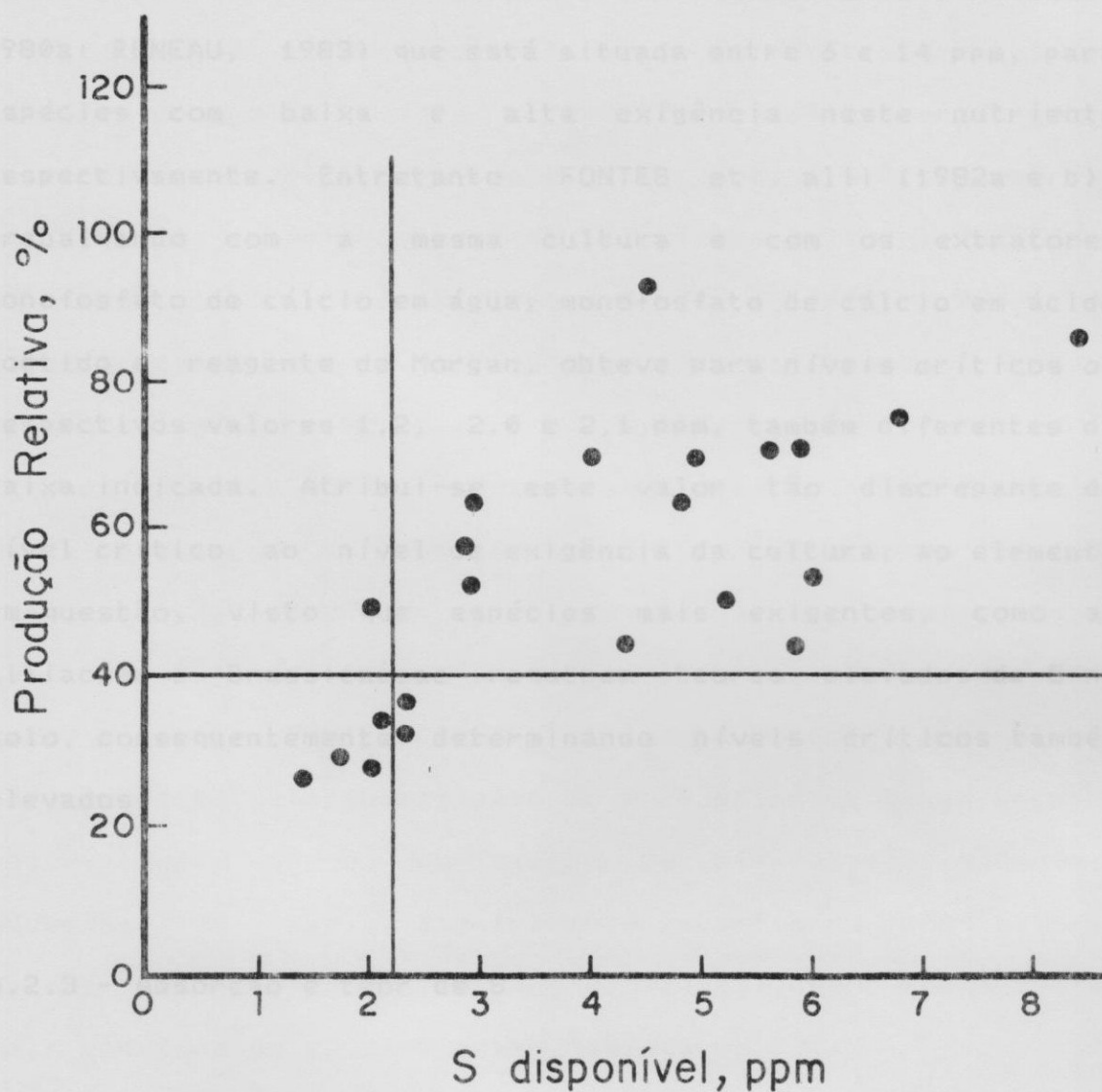


FIGURA 5 - Nível crítico de S disponível obtido com  $\text{NH}_4\text{OAc}$ , no segundo corte do sorgo forrageiro.

O valor obtido para nível crítico difere da faixa de variação do S disponível no solo apresentada por diversos pesquisadores (MACCLUNG et alii, 1959; NASCIMENTO & MORELLI, 1980a; RENEAU, 1983) que está situada entre 6 e 14 ppm, para espécies com baixa e alta exigência neste nutriente respectivamente. Entretanto FONTES et alii (1982a e b), trabalhando com a mesma cultura e com os extratores monofosfato de cálcio em água, monofosfato de cálcio em ácido acético e reagente de Morgan, obteve para níveis críticos os respectivos valores 1,2, 2,0 e 2,1 ppm, também diferentes da faixa indicada. Atribui-se este valor tão discrepante de nível crítico ao nível de exigência da cultura, ao elemento em questão, visto que espécies mais exigentes, como as Liliaceae e Brassicaceae requerem teores elevados de S no solo, conseqüentemente determinando níveis críticos também elevados. A disponibilidade de S em solos de Minas Gerais, obteve teores de S no tecido de plantas não adubadas e adubadas (40 ppm), ligeiramente superiores aos valores

4.2.3 - Absorção e teor de S que são justificados pelos teores mais elevados de enxofre desses solos.

Comparando o teor de enxofre das plantas dos tratamen. O enxofre na parte aérea das plantas variou com os solos e tratamentos, nos dois cortes estudados (QUADRO 8). No 1º corte, os teores de S estiveram na faixa de 0,01 a 0,16% (média = 0,07%) e de 0,08 a 0,18% (média = 0,13%) para os tratamentos sem e com S respectivamente. No 2º corte as plantas provenientes do tratamento sem enxofre

tiveram o teor de S menor que as do 1º corte (0,02 a 0,08%, média = 0,05%), enquanto que nos tratamentos que receberam S o teor aumentou (0,12 a 0,19, média = 0,15%). (QUADRO 8)

O teor de S nas plantas de sorgo dos tratamentos sem enxofre foi baixo (média = 0,07%) quando comparado com a faixa adequada de S total no tecido (0,01 a 0,5%) sugerida por diversos pesquisadores para diferentes culturas (JORDAN & ENSMINGER, 1958; COLEMAN, 1966; MENGEL & KIRKBY, 1982). Nos solos adubados com S nos valores encontraram-se na faixa adequada (média = 0,13 e 0,15%, 1º e 2º corte respectivamente) porém próximos ao limite inferior da mesma. Estes dados revelam que o sorgo, por tratar-se de uma gramínea, não apresenta alta exigência pelo enxofre, sendo suas necessidades nutricionais supridas com teores moderados deste elemento. FONTES (1982b) utilizando o sorgo como planta indicadora da disponibilidade de S em solos de Minas Gerais, obteve teores de S, no tecido de plantas não adubadas e adubadas (40 ppm), ligeiramente superiores aos valores encontrados neste trabalho, que são justificados pelos teores mais elevados de enxofre desses solos.

Comparando o teor de enxofre das plantas dos tratamentos sem e com S nos dois cultivos sucessivos, verificou-se que a sua adição resultou em aumentos no teor do mesmo nos tecidos, porém esses aumentos não foram proporcionais àqueles obtidos com a produção de matéria seca, caracterizando-se uma tendência ao "consumo de luxo". Tal efeito também foi constatado por BISSANI (1985), em plantas

de colza e por NASCIMENTO & MORELLI (1980b) em plantas de alfafa cultivadas em alguns solos do Rio Grande do Sul.

Relacionando-se a produção relativa (QUADRO 8) e o teor de S das plantas não adubadas com este nutriente, e utilizando o método gráfico de CATE & NELSON (1965), obteve-se o nível crítico para este último parâmetro, nos dois cortes sucessivos. Para produções relativas superiores a 90% obteve-se para nível crítico o teor de 0,06% de S, conforme ilustra a FIGURA 6. No 2º corte, praticamente em todos os solos, as plantas apresentaram teores abaixo desse nível crítico (FIGURA 7). Ressalta-se que 5 solos tiveram produção relativa abaixo de 90% e teores de S superiores a 0,06%, indicando que para este caso a produção provavelmente foi limitada pela deficiência de outros nutrientes. O nível crítico de S em plantas adubadas com este nutriente, não foi possível estabelecer, devido a dispersão dos dados causado provavelmente pelo consumo de luxo anteriormente mencionado.

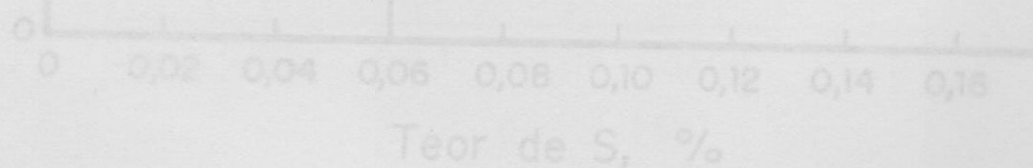


FIGURA 6 - Nível crítico do teor de S na planta, primeiro corte do sorgo forrageiro, do tratamento sem enxofre.

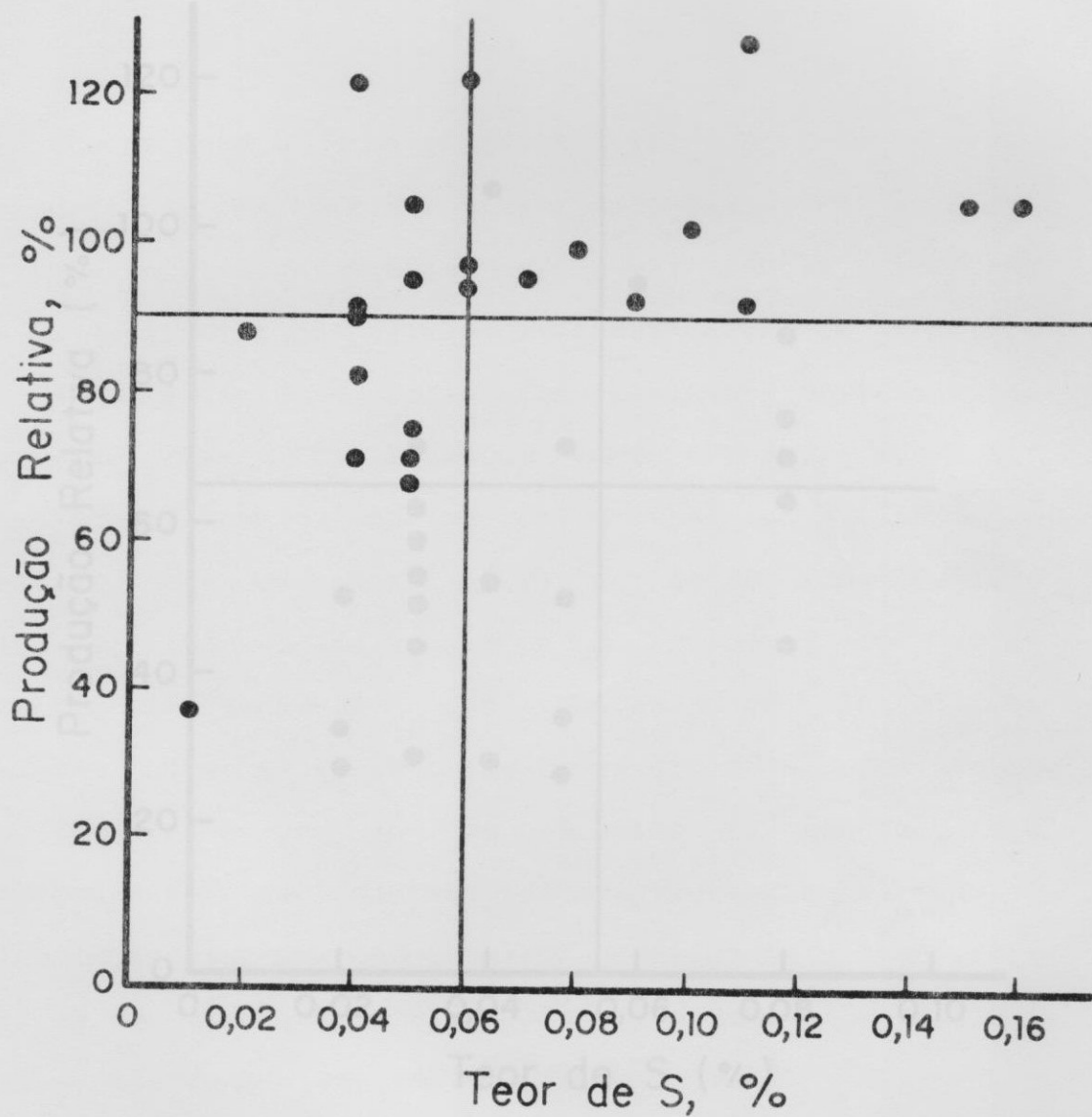


FIGURA 6 - Nível crítico do teor de S na planta, primeiro corte do sorgo forrageiro, do tratamento sem enxofre.

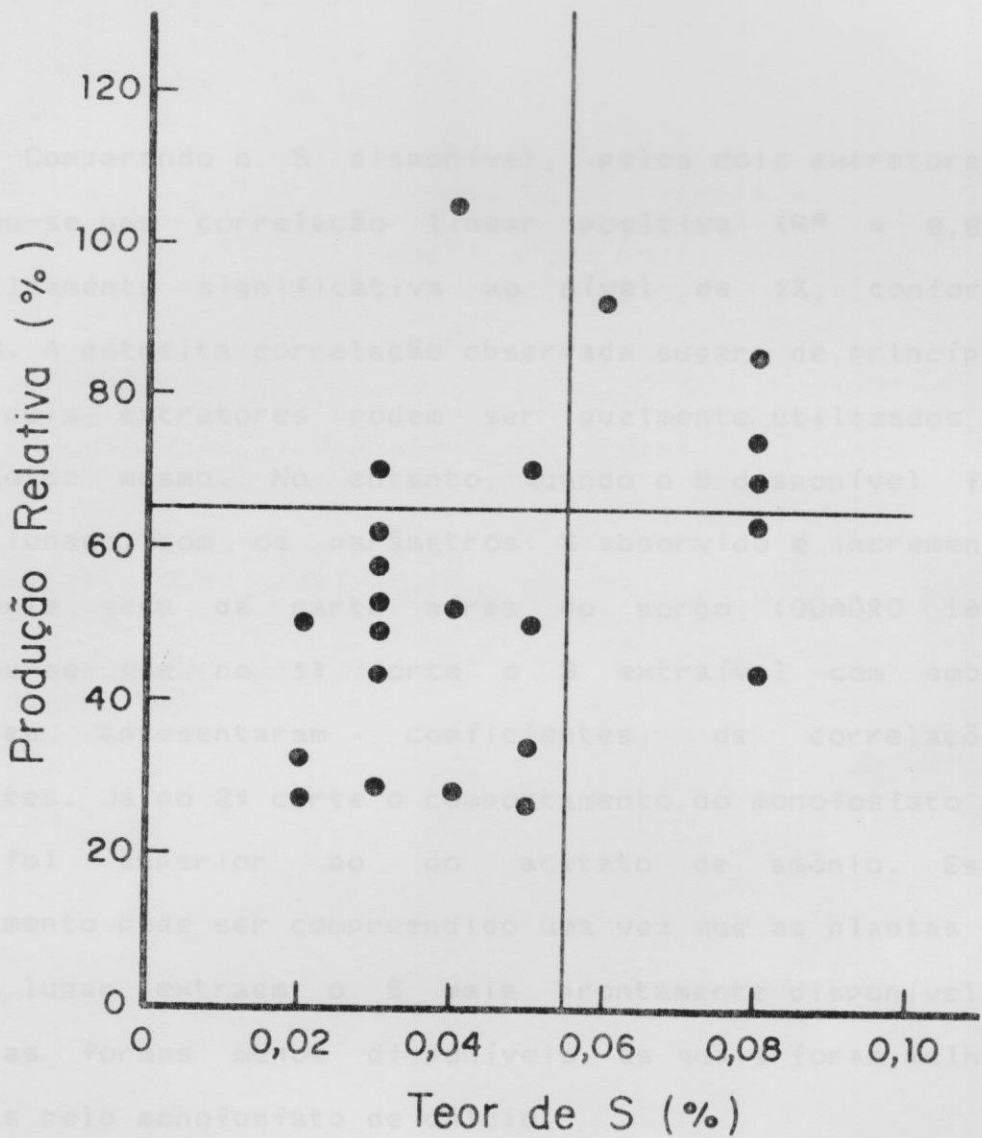


FIGURA 7 - Nível crítico do teor de S na planta, segundo corte do sorgo forrageiro, do tratamento sem S.

#### 4.2.4 - Enxofre disponível versus produção de matéria seca e S na planta.

Comparando o S disponível, pelos dois extratores, constatou-se uma correlação linear positiva ( $R^2 = 0,81$ ) estatisticamente significativa ao nível de 1%, conforme FIGURA 8. A estreita correlação observada sugere de princípio que os dois extratores podem ser igualmente utilizados na avaliação do mesmo. No entanto, quando o S disponível foi correlacionado, com os parâmetros: S absorvido e incremento de matéria seca da parte aérea do sorgo (QUADRO 10), verificou-se que no 1º corte o S extraível com ambos extratores apresentaram coeficientes de correlações semelhantes. Já no 2º corte o comportamento do monofosfato de cálcio foi superior ao do acetato de amônio. Este comportamento pode ser compreendido uma vez que as plantas em primeiro lugar extraem o S mais prontamente disponível e depois, as formas menos disponíveis, as quais foram melhor avaliadas pelo monofosfato de cálcio.

Para a soma dos dois cortes, observou-se que o S extraído com acetato de amônio melhor correlacionou-se com o S absorvido enquanto que o incremento de produção de matéria seca melhor correlacionou-se com o monofosfato de cálcio.

Estes resultados além de confirmar o maior poder de extração de sulfatos pelo monofosfato de cálcio, também sugerem a superioridade do mesmo com relação ao acetato de

QUADRO 10 - Coeficientes de correlação entre o S do solo extraído com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e  $\text{NH}_4\text{OAc}$ , e o S absorvido pelas plantas e incremento de produção, nos dois cortes.

| Variáveis                       | coeficiente de correlação |          |         |
|---------------------------------|---------------------------|----------|---------|
|                                 | 1º corte                  | 2º corte | 1º+2º   |
| S abs vs S disp <sub>I</sub>    | 0,59**                    | 0,74**   | 0,65**  |
| S abs vs S disp <sub>II</sub>   | 0,63**                    | 0,69**   | 0,79**  |
| IC prod vs S disp <sub>I</sub>  | -0,64**                   | -0,71**  | -0,80** |
| IC prod vs S disp <sub>II</sub> | -0,60**                   | -0,54**  | -0,61** |

\* Significativo ao nível de 5%

\*\* Significativo ao nível de 1%

I  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$

II  $\text{NH}_4\text{OAc}$

IC - Incremento de produção

disp - disponível

abs - absorvido

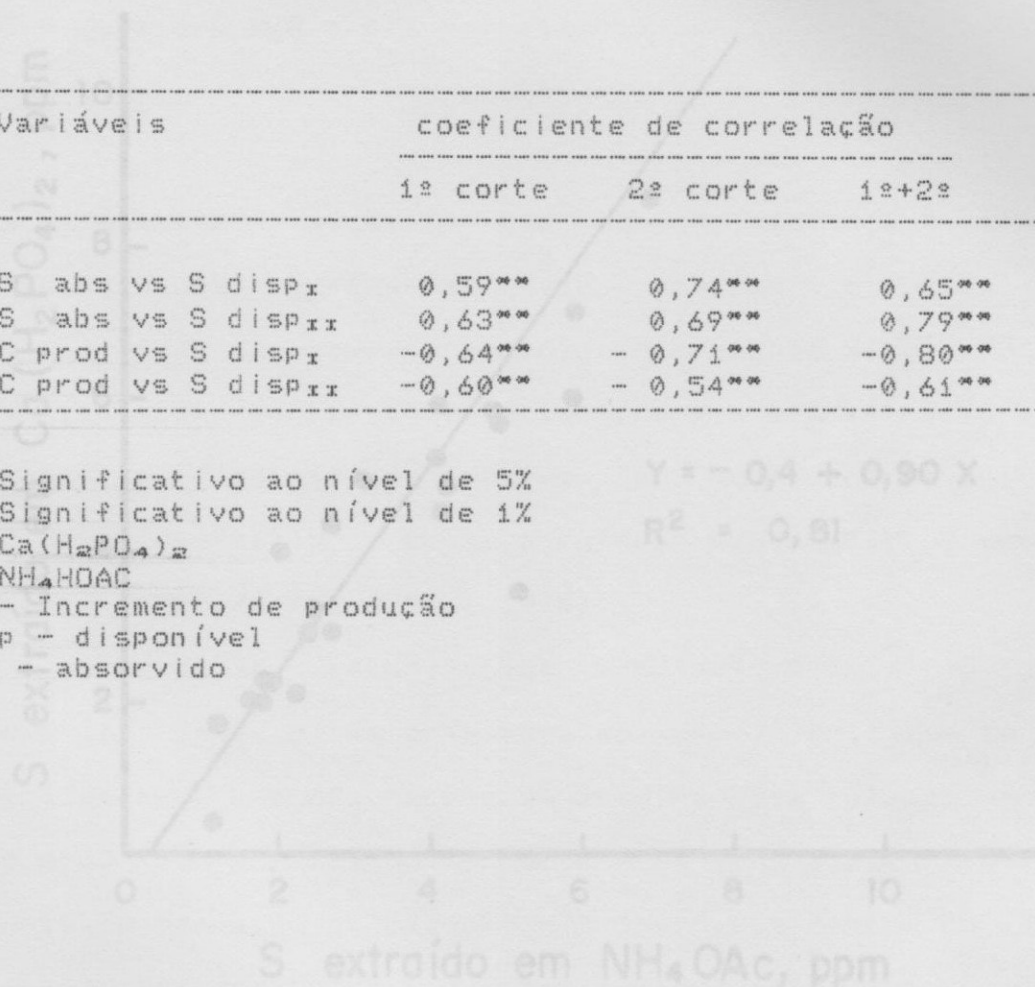


FIGURA 8 - Correlação do S disponível extraído com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e  $\text{NH}_4\text{OAc}$ .



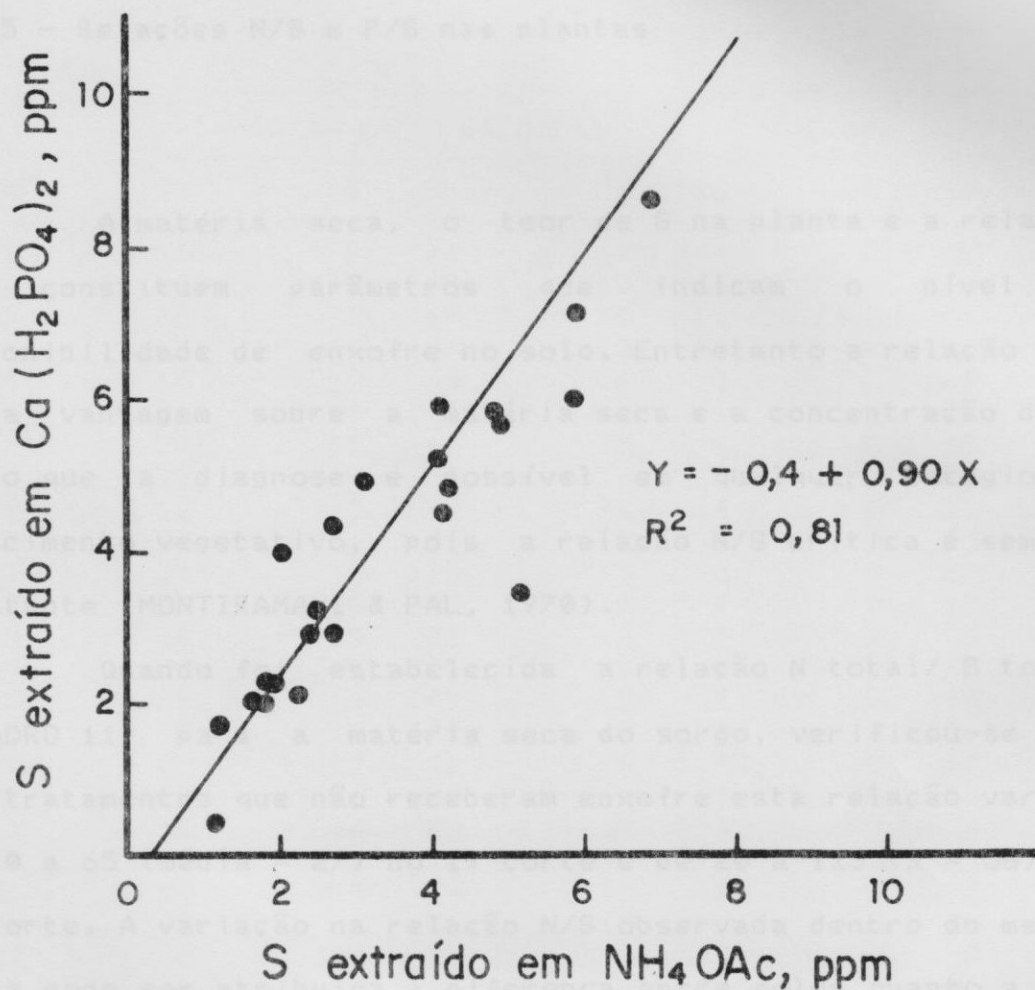


FIGURA 8 - Correlação do S disponível extraído com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e  $\text{NH}_4\text{OAc}$ .

amônio, na avaliação do enxofre disponível para as plantas, em solos cultivados em 23 solos.

#### 4.2.5 - Relações N/S e P/S nas plantas

A matéria seca, o teor de S na planta e a relação N/S, constituem parâmetros que indicam o nível de disponibilidade de enxofre no solo. Entretanto a relação N/S tem a vantagem sobre a matéria seca e a concentração de S visto que a diagnose é possível em qualquer estágio de crescimento vegetativo, pois a relação N/S crítica é sempre constante (MONTIRAMANI & PAL, 1970).

Quando foi estabelecida a relação N total/ S total (QUADRO 11) para a matéria seca do sorgo, verificou-se que nos tratamentos que não receberam enxofre esta relação variou de 10 a 65 (média = 27) no 1º corte e de 20 a 113 ( $x = 56$ ) no 2º corte. A variação na relação N/S observada dentro do mesmo corte pode ser atribuída à diferença entre solos quanto a sua capacidade de suprimento de enxofre. Assim o aumento desta relação observada no 2º corte foi causada pela redução do enxofre disponível dos solos, devido ao consumo pelas plantas durante o 1º cultivo. Nos tratamentos que receberam S a relação N/S teve valores entre 8 e 17 para o 1º corte e entre 12 e 20 para o 2º corte, situando-se suas médias, para o 1º e 2º corte respectivamente, entre 12 e 15, valores considerados ideais para o melhor estado nutricional das plantas (STEWART

QUADRO 11 - Relações N/S e P/S em plantas de sorgo forrageiro cultivadas em 23 solos.

LEGENDA  
● 1º Corte  
▲ 2º Corte

| Solo  | N/S      |    |          |    | P/S      |    |          |    |
|-------|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|
|       | 1º corte |    | 2º corte |    | 1º corte |    | 2º corte |    |
|       | So       | S1 | So       | S1 | So       | S1 | So       | S1 |
| 01    | 16       | 9  | 97       | 19 | 4        | 2  | 19       | 1  |
| 02    | 28       | 13 | 69       | 18 | 6        | 3  | 10       | 2  |
| 03    | 53       | 9  | 67       | 13 | 14       | 2  | 15       | 2  |
| 04    | 65       | 14 | 87       | 13 | 29       | 4  | 14       | 3  |
| 05    | 14       | 12 | 30       | 14 | 3        | 2  | 5        | 2  |
| 06    | 32       | 11 | 113      | 16 | 11       | 3  | 21       | 3  |
| 07    | 22       | 10 | 42       | 15 | 3        | 2  | 9        | 2  |
| 08    | 32       | 14 | 41       | 14 | 5        | 3  | 5        | 2  |
| 09    | 15       | 11 | 62       | 12 | 4        | 2  | 12       | 2  |
| 10    | 18       | 11 | 55       | 12 | 4        | 3  | 15       | 2  |
| 11    | 26       | 12 | 113      | 14 | 8        | 3  | 27       | 3  |
| 12    | 43       | 8  | 65       | 12 | 7        | 8  | 15       | 2  |
| 13    | 10       | 10 | 23       | 12 | 2        | 2  | 5        | 2  |
| 14    | 29       | 17 | 65       | 20 | 5        | 2  | 15       | 3  |
| 15    | 38       | 12 | 109      | 15 | 9        | 3  | 14       | 2  |
| 16    | 32       | 11 | 49       | 13 | 8        | 3  | 10       | 2  |
| 17    | 29       | 12 | 42       | 16 | 7        | 2  | 10       | 2  |
| 18    | 29       | 16 | 43       | 16 | 8        | 4  | 10       | 3  |
| 19    | 12       | 16 | 28       | 17 | 3        | 4  | 4        | 2  |
| 20    | 13       | 14 | 20       | 13 | 4        | 3  | 6        | 2  |
| 21    | 19       | 15 | 24       | 12 | 7        | 2  | 7        | 2  |
| 22    | 31       | 11 | 46       | 13 | 8        | 3  | 15       | 3  |
| 23    | 15       | 14 | 26       | 15 | 2        | 2  | 3        | 2  |
| média | 27       | 12 | 56       | 15 | 7        | 3  | 12       | 2  |

FIGURA 9 - Nível crítico da relação N/S em plantas de sorgo forrageiro, 1º e 2º corte do tratamento com S.

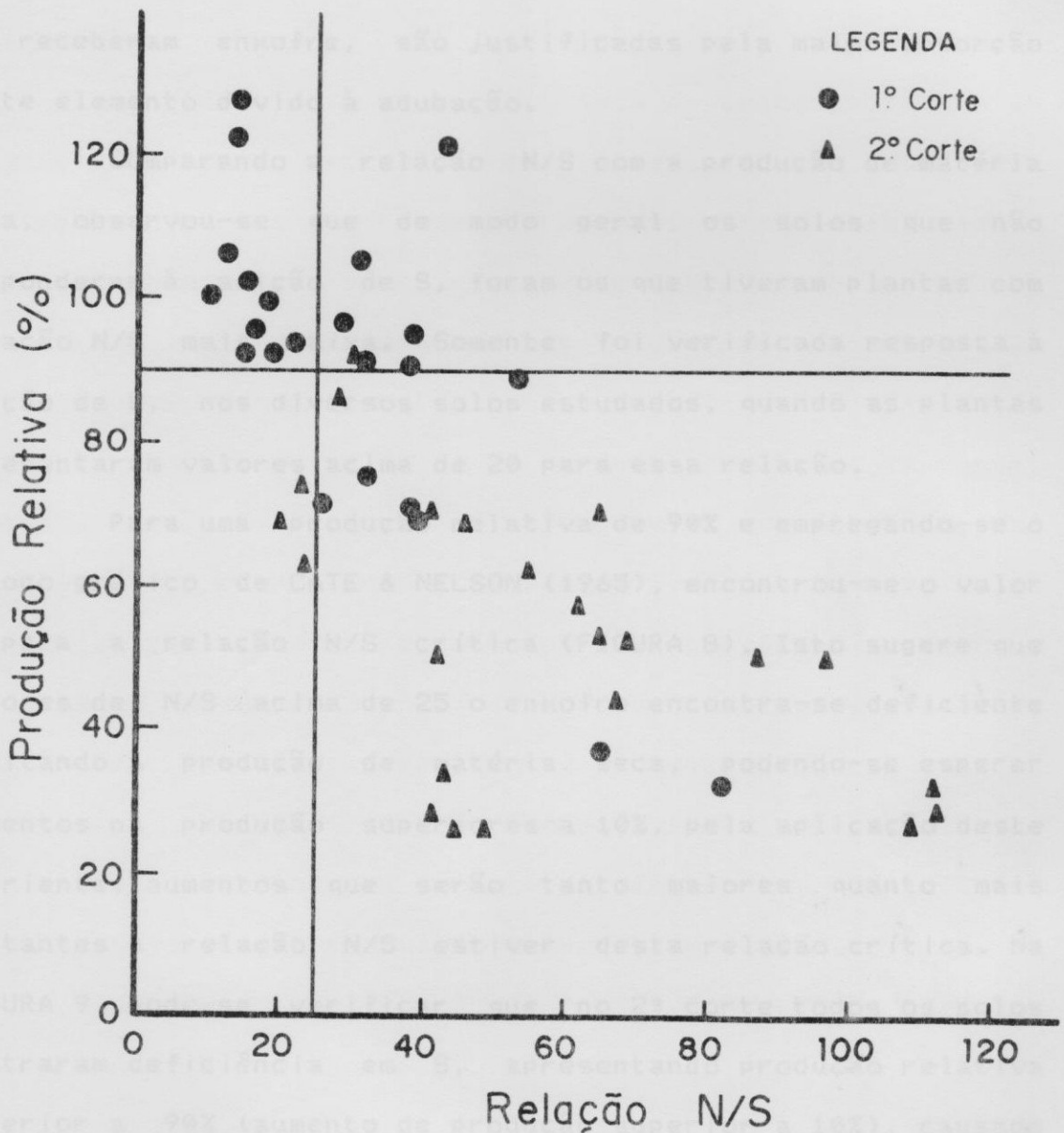


FIGURA 9 - Nível crítico da relação N/S no tecido da planta, 1º e 2º corte do tratamento sem S.

& PORTER, 1969). A redução nestes valores, em relação aos que não receberam enxofre, são justificadas pela maior absorção deste elemento devido à adubação.

Comparando a relação N/S com a produção de matéria seca, observou-se que de modo geral os solos que não responderam à adição de S, foram os que tiveram plantas com relação N/S mais baixa. Somente foi verificada resposta à adição de S, nos diversos solos estudados, quando as plantas apresentaram valores acima de 20 para essa relação.

Para uma produção relativa de 90% e empregando-se o método gráfico de CATE & NELSON (1965), encontrou-se o valor 25 para a relação N/S crítica (FIGURA 8). Isto sugere que valores de N/S acima de 25 o enxofre encontra-se deficiente limitando a produção de matéria seca, podendo-se esperar aumentos na produção superiores a 10%, pela aplicação deste nutriente, aumentos que serão tanto maiores quanto mais distantes a relação N/S estiver desta relação crítica. Na FIGURA 9 pode-se verificar que no 2º corte todos os solos mostraram deficiência em S, apresentando produção relativa inferior a 90% (aumento de produção superior a 10%), causado pelo consumo de S durante o 1º cultivo, já mencionado anteriormente. A redução na matéria seca causada pela deficiência de S pode ser explicada por tratar-se de um macronutriente essencial à síntese protéica, uma vez que faz parte dos aminoácidos essenciais sulfurados (cisteínas e metioninas). Segundo SILVA (1985) o equilíbrio no suprimento de N/S é indispensável à obtenção de teores protéicos mais

elevados o que propicia produtos vegetais de melhor qualidade.

A relação P/S da matéria seca do sorgo cultivado em diferentes classes de solo, esta apresentada no QUADRO 12. Nos tratamentos que não receberam enxofre esta relação variou de 2 a 29 (média = 7) no 1º corte e de 3 a 27 (média = 12) no 2º corte. Nos tratamentos que receberam S a relação apresentou-se mais estreita, tendo variado de 2 a 4 (média = 3) no 1º corte e de 1 a 3 (média = 2) no 2º corte. Semelhantemente a relação N/S, observou-se que de modo geral os solos que responderam a adição de S, foram aqueles cujas as plantas apresentaram relação P/S mais larga (acima de 8 no 1º corte e acima de 3 no 2º corte). Os resultados médios da relação P/S das plantas adubadas estão de acordo com aqueles obtidos por MALAVOLTA (1984) em dois experimentos de campo com sorgo sacarino em solos do Estado de São Paulo, resultados estes associados as melhores produções.

|       |      |      |      |      |   |   |    |   |
|-------|------|------|------|------|---|---|----|---|
| 18    | 0,42 | 0,32 | 0,30 | 0,30 | 3 | 4 | 10 | 3 |
| 19    | 0,48 | 0,48 | 0,34 | 0,31 | 3 | 4 | 4  | 2 |
| 20    | 0,41 | 0,46 | 0,47 | 0,31 | 4 | 3 | 6  | 2 |
| 21    | 0,41 | 0,33 | 0,50 | 0,41 | 7 | 2 | 7  | 2 |
| 22    | 0,48 | 0,47 | 0,54 | 0,53 | 8 | 3 | 15 | 3 |
| 23    | 0,28 | 0,25 | 0,25 | 0,19 | 2 | 2 | 3  | 2 |
| média | 0,34 | 0,38 | 0,41 | 0,35 | 7 | 3 | 12 | 2 |

QUADRO 12 - Teores de P e relações P/S das plantas de sorgo forrageiro, nos dois cortes e para os tratamentos sem enxofre (So) e com enxofre (S<sub>1</sub>), cultivadas nos solos estudados.

## 5 - CONCLUSÕES

| Solo  | Teor de P   |                |             |                | P/S      |                |          |                |
|-------|-------------|----------------|-------------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|
|       | 1º corte    |                | 2º corte    |                | 1º corte |                | 2º corte |                |
|       | So          | S <sub>1</sub> | So          | S <sub>1</sub> | So       | S <sub>1</sub> | So       | S <sub>1</sub> |
|       | ----(%)---- |                | ----(%)---- |                |          |                |          |                |
| 01    | 0,26        | 0,30           | 0,39        | 0,18           | 4        | 2              | 19       | 1              |
| 02    | 0,23        | 0,28           | 0,37        | 0,29           | 6        | 3              | 10       | 2              |
| 03    | 0,28        | 0,26           | 0,43        | 0,34           | 14       | 2              | 15       | 2              |
| 04    | 0,58        | 0,39           | 0,41        | 0,53           | 29       | 4              | 14       | 3              |
| 05    | 0,30        | 0,31           | 0,32        | 0,40           | 3        | 2              | 5        | 2              |
| 06    | 0,43        | 0,41           | 0,42        | 0,40           | 11       | 3              | 21       | 3              |
| 07    | 0,21        | 0,28           | 0,34        | 0,24           | 3        | 2              | 9        | 2              |
| 08    | 0,22        | 0,22           | 0,23        | 0,23           | 5        | 3              | 5        | 2              |
| 09    | 0,32        | 0,34           | 0,37        | 0,32           | 4        | 2              | 12       | 2              |
| 10    | 0,30        | 0,32           | 0,44        | 0,36           | 4        | 3              | 15       | 2              |
| 11    | 0,38        | 0,37           | 0,53        | 0,43           | 8        | 3              | 27       | 3              |
| 12    | 0,30        | 0,32           | 0,46        | 0,35           | 7        | 8              | 15       | 2              |
| 13    | 0,36        | 0,37           | 0,45        | 0,36           | 2        | 2              | 5        | 2              |
| 14    | 0,32        | 0,32           | 0,45        | 0,36           | 5        | 2              | 15       | 3              |
| 15    | 0,36        | 0,29           | 0,33        | 0,42           | 9        | 3              | 14       | 2              |
| 16    | 0,43        | 0,37           | 0,46        | 0,37           | 8        | 3              | 10       | 2              |
| 17    | 0,33        | 0,29           | 0,46        | 0,32           | 7        | 2              | 10       | 2              |
| 18    | 0,42        | 0,32           | 0,58        | 0,38           | 8        | 4              | 10       | 3              |
| 19    | 0,40        | 0,48           | 0,34        | 0,31           | 3        | 4              | 4        | 2              |
| 20    | 0,41        | 0,40           | 0,47        | 0,31           | 4        | 3              | 6        | 2              |
| 21    | 0,41        | 0,33           | 0,50        | 0,41           | 7        | 2              | 7        | 2              |
| 22    | 0,40        | 0,48           | 0,54        | 0,53           | 8        | 3              | 15       | 3              |
| 23    | 0,20        | 0,25           | 0,25        | 0,19           | 2        | 2              | 3        | 2              |
| média | 0,34        | 0,38           | 0,41        | 0,35           | 7        | 3              | 12       | 2              |

cultura do sorgo como planta indicadora.

5) Para plantas de sorgo com 33 dias de idade foi estabelecido o teor crítico de 9,66% de P e relação N/P crítica de 25, para 90% de produção relativa de matéria seca, em plantas de sorgo com 49 dias de idade.

## 5 - CONCLUSÕES

1) Na avaliação do S disponível para as plantas, o extrator monofosfato de cálcio foi superior ao acetato de amônio, apresentando valores mais altos e que melhor correlacionaram-se com a produção de matéria seca e o enxofre absorvido pelas plantas.

ALVAREZ, 2) O teor de argila (%) e hidrogênio trocável (H+) foram as propriedades que melhor correlacionaram-se com o teor de S disponível nos solos estudados.

3) Para a cultura do sorgo, em condições de casa de vegetação, foi estabelecido 2,3 ppm como nível crítico de S no solo, para produções relativas de matéria seca superiores a 80%.

4) Verificou-se que em torno de 30% dos solos estudados, apresentaram-se deficientes em S, usando a cultura do sorgo como planta indicadora.

5) Para plantas de sorgo com 33 dias de idade foi estabelecido o teor crítico de 0,06% de S e relação N/S crítica de 25, para 90% de produção relativa de matéria seca, em plantas de sorgo com 40 dias de idade.



SARROW, N.J. 1969. A comparison of mineralization of nitrogen and sulphur from decomposing organic materials.

Journal Agronomy REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SARROW, N.J. 1967. Studies on extraction and on availability

ACCIOLY, L.J. de O. 1985. Avaliação do enxofre disponível

pelo método da resina trocadora de ânions. 60p. Dissertação

(Mestr. Agron - Solos), Fac. de Agronomia, UFV, Viçosa,

1985. N.J. 1969. Effects of adsorption of sulfate by soils

on the amount of sulfate present and its availability to

ALVAREZ, V.H.V.; FREIRE, M.F. & GUIMARÃES, P.T.G. 1987a

Concentrações relativas ótimas de nitrogênio, fósforo e

enxofre, na adubação do cafeeiro num latossolo vermelho-

escuro de Machado-MG. Pesquisa Agropecuária Brasileira,

Brasília, 22(2):145-152. (técnico, 14).

ARORA, B.R. & SEKHON, G.S. 1977. Evaluation of soil tests

for the estimation of available sulphur. Journal

Agricultural Science, Cambridge, 88: 203-6. Misc. Pub. 349

1-164.

AYLMORE, L.A.G.; KARIN, M.; QUIRK, J.P. 1967. Adsorption and

desorption of sulfate ions by soil constituents. Soil

Science, Baltimore, 103(1): 10-15. sulfur relationships in

grassland, forest, and associated transitional soils. Soil

BARDSLEY, C.E. & LANCASTER, J. D. 1960. Determination of

reserve sulfur and soluble sulfates in soils. Soil Science

Society of America Proceedings, Madison, 24:265-8.

BARROW, N.J. 1960. A comparison of mineralization of nitrogen and sulphur from decomposing organic materials. Journal Agronomy Research 11 : 960-969.

BARROW, N.J. 1967. Studies on extration and on availability to plants of adsorbed plus soluble sulfate. Soil Science, Baltimore, 104 (4) : 242-9. Faculdade de Agronomia, UFPA, Porto Alegre, 1965.

BARROW, N.J. 1969. Effects of adsorption of sulfate by soils on the amount of sulfate present and its availability to plants. Soil Science, 108(3): 119-201.

BEATON, J.D.; BURNS, G.R.; PLATON, J. 1968. Determination of sulphur in soils and plant material. Washington, Sulphur Institute. 56 p. (Boletim técnico, 14). Bulletin, T-12).

BEESON, K.C. 1941. The mineral composition of crops with particular reference to the soils in which they were grown. A review and compilation. U.S. Dept. Agr. Misc. Pub. 369 : 1-164. de Ciências. Departamento de Fitotecnia. Convênio BNB/UPC (Programa trienal de desenvolvimento da cultura do

BETTANY, J.R.; STEWART, W.B.; HALSTEAD, E.H. 1973. Sulfur fraction and carbon, nitrogen, and sulfur relationships in grassland, forest, and associated transitional soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 37:915-8. de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais.

BIEDERBECK, V. O. 1978. Soil organic sulfur and fertility.

- In: Scheritzer, M. & Khan, S. V., ed. Soil organic matter. Amsterdam, Elsevier. Cap. 6, p. 273-310. (Developments in Soil Science, 8). *de Quelroz*, Piracicaba, 20 : 235-245.
- BISSANI, C. A. 1985. Disponibilidade de enxofre para as plantas em solos do Rio Grande do Sul. 198p. Dissertação (Mestr. Agron. - Solos). Faculdade de Agronomia. UFRGS, Porto Alegre, 1985.
- BLAIR, G. J. 1971. The sulphur cycle. Journal Australian Agriculture Science, June, 113 - 121. *edios*, Vol. 35.
- BLAIR, G. J. 1979. Sulfur in the tropics. Muscle Shoals, The Sulphur Institute & The International Fertilizer Development Center. 69 p. (Technical Bulletin, T-12).
- CARMO, C.M. do & PINTO, C.A. de S. 1979. Competição de variedades de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), em cinco municípios do Estado do Ceará. IN: UFC, Centro de Ciências. Departamento de Fitotecnia. Convênio BNB/UFC (Programa trienal de desenvolvimento da cultura do sorgo do Ne). Relatório de Pesquisa 1977. Fortaleza, p. 29-35. *production. Soil Science, Baltimore, 101(4)* 230-9.
- CASAGRANDE, J.C. & SOUZA, O.C. 1982. Efeito de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(1) : 21-25.

- CATTANI, R.A.; GLÓRIA, N.A. da; VITTI, G.C. 1971. A adsorção de sulfatos pelo solo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 28: 235-245.
- CATE, R. B. & NELSON, L. A. A rapid method for correlation of soil text analyses with plant response data. Indt. Soil Testing Serie Tech. bull., nº 1, 1965.
- EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual
- CATE, R. B.; NELSON, L.A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil Science America Proceeding, Vol. 35.
- ENSMINGER, L.E. 1954. Some factors affecting the
- CHESNIN, L. & YIEN, C. H. 1950. Turbidimetric determination of available sulfates. Soil Science Society of America Proceedings, Madson, 15:149-51.
- ENSMINGER, L. E. & FRENEY, J. R. 1966. Diagnostic techniques
- COELHO, M.A. 1971. Características de umidade de alguns solos de aluvião: Normais - sódicos e sódicos - salinos. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. (Tese de Mestrado).
- ROST, C.O. 1945. Total organic sulfur and humus sulfur of Minnesota soils. Soil Science, 59:125-37.
- COLEMAN, R. 1966. The importance of sulphur as plant nutrient in world production. Soil Science, Baltimore, 101(4): 230-9.
- de América Latina. Turrialba, Costa Rica. Inst. Interam. de Ciências Agrícolas de la OEA, 1978. 398 p.
- COOPER, H.P. & MITCHEL, J.H. 1946. Chemical composition of cotton plant grown on different soil types. Soil Scienci

- Society of America Proceedings 2 : 374-377. três extratores químicos em latossolos de Minas Gerais. Revista Brasileira
- DAVID, M. B.; MITCHELL, M.J. and NAKAS, J.P. 1982. Organic and inorganic sulfur constituents of forest soil and their relationship to microbial activity. Soil Science Society of America Journal. 46 : 847-842. enxofre em três extratores químicos em latossolos de Minas Gerais. Revista Brasileira
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análises de Solo. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro 1979. 212 p. (Libros e Materiales educativos, San Jose, CA.)
- ENSMINGER, L.E. 1954. Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 18:259-64. Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil tests. Soil Science, Baltimore, 101 (4):283-90. Sulfur requirements of crops and implications for production in the tropics.
- ENSMINGER, L. E. & FRENEY, J. R. 1966. Diagnostic techniques for determining sulfur deficiencies in crops and soils. Soil Science, Baltimore, 101 (4):283-90. Sulfur requirements of crops and implications for production in the tropics.
- EVANS, C.A. & ROST, C.O. 1945. Total organic sulfur and humus sulfur of Minnesota soils. Soil Science. 59:125-37.
- FOX, R.L. 1966. Responses to sulphur by crops growing in
- FASSBENDER, H.W. 1978. Química de suelos. Con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica, Inst. Interam. de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1978. 398 p. 1974. Resposta a níveis de enxofre em solos de baixada.
- FONTES, M. S. P. F.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BORGES, A.

- FOX, R.L. 1982a. Disponibilidade do enxofre em três extratores químicos em latossolos de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, 6: 125-130.
- FRENEY, J.R. and STEVENSON, F.J. 1966. Organic sulfur transformation in soils. Soil Science, V: 101 (4): 397-16.
- FONTE, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H. & BORGES, A.C. 1982b. Disponibilidade do enxofre em três extratores químicos em latossolos de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 6: 126-30.
- FORSYTHE, W.M. 1975. Física de suelos: manual de laboratorio. San Jose, II CA. 212 p. (Libros e Materiales educativos, 25). presence and absence of growing plants. Australian Journal of Soil Res. 11: 339-345.
- FOX, R. L.; OLSON, R. A.; RHOADS, H. F. 1964. Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil tests. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 28:243-6. nutrient. Plant and Soil XVII (3): 293-300.
- FOX, R.L.; KANG, B.T.; NANGIU, D. 1977. Sulfur requirements of cowpea and implications for production in the tropics. Agronomy Journal. 69 : 201-205. Soil Biochemistry. New York, Marcel Dekker, p. 229-239.
- FOX, R.L. 1980. Responses to sulphur by crops growing in highly weathered soils. Sulphur in Agriculture. 4 :22. and movement of inorganic soil sulfur. Soil Science, Baltimore.
- FREIRE, J. C.; MATTOS, R.; SOUZA, J. J.; BAHIA, F. G. T. 1974. Resposta a níveis de enxofre em solos de baixada, Vale do Sapucaí, Minas Gerais. Agros, Lavras, 4(1):33-44.

- FRENEY, J.R. 1957. Determination of water-soluble sulfate in soils. Soil Science 86 : 241-244.
- FRENEY, J.R. and STEVENSON, F.J. 1966. Organic sulfur transformations in soils. Soil Science V. 101 (4) : 307-316.
- FRENEY, J.R. and STEVENSON, F.J. 1966. Organic sulfur transformation in soils. Soil Science, V. 101 (4):307-16.
- FRENEY, J.R. and SPENCER, K. 1960. Soil sulphate changes in the presence and absence of growing plant. Australian J. agric. Res. 11 : 339-345.
- FRENEY, J.R.; BARROW, N.J. & SPENCER, K. 1962. A review of certain aspects of sulphur as a soil constituent and plant nutrient. Plant and Soil XVII (3) : 295-308.
- FRENEY, J.R. 1967. Sulfur-containing organics. IN: McLAREN, A. D. & PETERSON, G.H., ed. Soil Biochemistry. New York, Marcel Dekker. p. 229-259.
- HARWARD, M. E. & REISENAUER, H. M. 1966. Reactions and movement of inorganic soil sulfur. Soil Science, Baltimore, 101(4):326-335.
- HOEFT, R. G.; WALSH, L. M.; KEENEY, D. R. 1973. Evaluating of

various extractants for available sulfur. Soil Science Society of America Proceedings, Madson, 37:401-4.

HOMES, M. V. 1966. Sulfur requirement in fertilizer as determined by the method of systematic variations. Soil Science. 101: 291-296.

HOWARD, M.E.; CHAO, T.T. and FANG, S.C. 1962. The sulfur status and supplying power of Oregon soils. Agronomy Journal. 54 : 101-106.

HUE, N.V.; ADAMS, F. and EVANS, C.E. 1984. Plant available sulfur as measure by soil - solution sulfate and phosphate-extractable sulfate in Ultisol. Agronomy Journal 76: 726-730.

ISLAM, M.M. & BHUIYVAN, N.I. 1984. Evaluating of various extractants for available sulphur in wetland rice soils of Bangladesh. Brill Thursday Seminar, November 1.

JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C. & MEDEIROS, L.A.R. 1973. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará, Recife. p. 1-301. (Boletim Técnico 28 série Pedologia 16).

JAZEN, H.H. and BETTANY, J.R. 1984 Sulphur nutrition of rapeseed : I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur



- rates. Soil Science Society of America Journal. 48:100-107.
- JOHNSON, C.M. and NISHITA, H. 1952. Microestimation of sulfur in plant materials, soils and irrigation waters. Anal. Chem. 24 : 736 - 742.
- JONES, L.H.P. ; COWLING, D.W. and LOCKYER, D.R. 1972. Plant available and extratable sulfur in some soils of England and Wales. Soil Science 114(2) 104 - 114.
- JORDAN, H.V. and ENSMINGER, L.E. 1958. The role of sulphur in soil fertility. Advance Agronomy. 10 : 407-433.
- KAMPFER, M. & ZEHLER, E. 1967. La importancia de abonos a base de sulfatos em el aumento de rendimientos y calidad de los productos agricolas, hortícolas y florestales. Revista da Potassa, sección, 24: 5-12.
- KAMPRATH, E.J.; NELSON W.L. and FITTS, J.W. 1956. The effect of pH, sulfate and phosphate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. Soil Science Society Proceedings. 20:463-466.
- KAMPRATH, E.J. & TILL, A.R. 1983. Sulphur cycling in the tropics. Sulphur in S.E. Asian and S. Pacific Agriculture Indonesia, UNE, p. 1-14.

- KILMER, V.J. & NEARPASS, D.C. 1960. The determination of available sulfur in soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 24 : 337-340.
- McCLUNG, A. C.; FREITAS, L. M. M.; LOTT, W. L. 1959. Analysis of several brazilian soils in relation to plant responses to sulfur. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 23:221-4.
- McCLUNG, A.C. and FREITAS, L.M.M. 1959. Sulfur deficiency in soils from Brazilian campos. Ecology 40(2) : 315-317.
- MALAVOLTA, E. 1952. Estudos químico-agrícolas sobre o enxofre. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", 9:40-130.
- MALAVOLTA, E. 1976. Manual de Química Agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Ed. Agronômica, 400 p.
- MCCERES, K. & KIRKBY, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. Morplanfen, International Potash Institute, 200 p.
- MALAVOLTA, E. 1979. Potássio, Magnésio e Enxofre nos Solos e Culturas Brasileiras. Instituto da Potassa e Fosfato (EUA). Instituto Internacional da Potassa (Suíça). p. 91 (Boletim, 4).
- MALAVOLTA, E. 1984. Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico: I - capim colômbio.

II-colza; III-sorgo sacarino. São Paulo, SP. SN, 60 p.

MALAVOLTA, E. 1989. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 201 p.

MASSOUMI, A. and CORNFIELD, A.H. 1963. A rapid method for determining sulphate in water extracts of soils. Analyst 88 : 321-322.

MAYNARD, D.G.; KALRA, Y.P. and RADFORD, F.F. 1987. Extraction and determination of sulfur in organic horizons of forest soils. Soil Science of America Journal 51 : 801-806.

MELLO, F.A.F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETO, A. & KIEHL, J. de C. 1987. FERTILIDADE DO SOLO. 3a. ed. São Paulo, Nobel, 400 p.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. Worblanfen, International Potash Institute, 593 p.

MILLER, H.G. 1921. Further studies on relation of sulphates to plant growth and composition. Journal Agriculture Research 22: 101-110.

MOTA, F.O.B. 1980. Classificação dos Solos da Fazenda

- Experimental do Vale do Curu - Parte Alta. Ciência Agronômica 10(1): 53-55. F.E. 1980. Use and limitation of physical - chemical for assessing the status of phosphorus
- NASCIMENTO, J.A.L. do & MORELLI, M. 1980a. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I- Formas no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 4: 131-135.
- NASCIMENTO, J.A.L. do & MORELLI, M. 1980b. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. II- Disponibilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 4: 135-138.
- NEPTUNE, A. M. L.; TABATABAI, M. A.; HANWAY, J. J. 1975. Sulfur fractions and total carbon-nitrogen-phosphorus relationships in some Brazilian and Iowa soils. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 39:51-55.
- RENN, G.V. & CALDWELL, A.C. 1968. Sulfur supplying capacity
- NICHOLSON, A.J. 1970. Soil sulfur balance studies in the presence and absence of grown plants. Soil Science. 109 : 345-350.
- REISNAUER, H.N.; WALSH, L.M.; HOEFT, R.G. 1973. Testing soils
- NOR, Y. M. 1981. Sulphur mineralization and adsorption in soils. Plant and Soil, The Hague, 60:451-9. Soil Science Society of America Proceedings p. 173-199.
- NUTTALL, W.F. 1985. Effect of N,P and S fertilizers on alfalfa grown on three soil type in Northeastern Saskatchewan. II- Nitrogen, phosphorus and sulfur uptake and concentration in herbage. Agonomy Journal 77: 224-228.

- OLSEN, S.R. & KHASAWNEH, F.E. 1980. Use and limitation of physical-chemical for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. The role of phosphorus in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, p. 361-410.
- PROBERT, M.E. 1976. Studies of "available" and isotopically exchangeable sulphur in some North Queensland soils. Plant and Soil, The Hague, 45 : 461-471.
- RAIJ B.V. & QUAGGIO, J.A. 1983. Métodos de análises de solo para fins de fertilidade. Instituto Agronomico, Campinas. 32 p. (Boletim técnico, 81).
- REHN, G.W. & CALDWELL, A.C. 1968. Sulfur supplying capacity of soils and the relationship to soil type. Soil Science. 105 (5) : 335-361.
- REISNAUER, H.M.; WALSH, L.M.; HOEFT, R.G. 1973. Testing soils for sulphur, boron, mlybdenum and chlorim. In: WALSH, L.M. & BETON, J.D. Ed. Soil Testing and Plant Anaysis. Madison, Soil Science Society of America Proceedings p. 173-199.
- RENEAU, R.B.Jr. 1983. Sulfur and crops yields in the Eastern United States. Better Crops Plant Food. V.67, spring, p. 24-25.

RICHARDS, L.A. 1974. Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos, 6ª ed. Editorial Limusa, México, 172 p.

SILVA, J.J.S. 1985. Aducação orgânica e inorgânica e suas relações com a qualidade nutritiva e com o rendimento de grãos de feijão e ervilha. 129p. Dissertação (Mestr. Agron. Solos). Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre.

SMINTTENBERG, J.; HARNESSEN, G.W.; QUISPÉL, A. And OTZEN, D. 1951. Rapid methods for determining different types of sulphur compounds in soil. Plant and Soil III, nº 4.

SPENCER, K. & FRENEY, J.R. 1960. A comparison of several procedures for estimating the sulphur states of soils. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourn, 11(6) : 948-57.

STEWART, S.A. & PORTER, L.K. 1969. Nitrogen-sulfur relationship in wheat (*Triticum aestivum*, L.) corn (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) Agronomy Journal, Madison, 61 : 267-271.

TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. 1970. An alkaline oxidation method determination of total sulfur in soils. Soil Science Society of America Proceedings 34 (5) : 380-385.

- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1972a. Distributions of total and available sulfur in select soils and soil profiles. Agronomy Journal, madison, 64:40-4. Reporter. 1. Washington, D.C. 1967.
- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. 1972b. Form of sulfur, and carbon, and nitrogen and sulfur relationships, in Iowa soils. Soil Science. Vol. 114 (nº5): 380-385. Surface soils. Soil Science, vol. 143(2) : 184-199.
- \_\_\_\_\_ & AL-KHAFAJI, A.A. 1980. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. Soil Science Society America Journal 44 : 1000-6. Fertilidade do Solo. Ministério da Agricultura. 24p. (Boletim Técnico 7).
- \_\_\_\_\_. 1982. Sulphur. In: PAGE, A.L., ed. Methods of soil analysis; Chemical and microbiological properties. 2nd. Ed. Madison, American Society of Agronomy & Soil Science Society of America. V.2, p. 501-38 (series Agronomy, 9). Estado de Botucatu, SP, 129-174 p.
- TECHINICON, 1972. Sulfate and water and wastewater. Industrial Method nº 18-171. W. Hays Technicon Industrial Systems. Tarrytown, NY.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. 1985. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Departamento de Solos, faculdade de Agronomia, UFRGS, 184p. (Boletim Técnico de Solos, 5). of sulphur deficiency in alfafa. 1- Extractable soil 90.-9. Agronomy Journal:

- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, Soil Conservation Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples. Soil Survey Investigation Reporter. 01. Washington, D.C. 1967. available sulphur in some Australian soils. Australian Journal of Agricultural Research.
- VAUGHN, C.E.; JONES, B.M.; CENTER, D.M. Sulfur test on northern California subclover-annual grass pasture surface soils. Soil Science, vol. 143(3) : 184-190. *responsabilidade do enxofre para a alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul e*
- VETTORI, L. 1969. Métodos de análises de solos. Rio de Janeiro. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Ministério da Agricultura. 24p. (Boletim Técnico 7).
- VITTI, G.C. 1989. Enxofre do Solo. In: Interpretação de Análises de Solo e Planta para fins de adubação. BULL, L.T. (coord.). Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Botucatu, SP. 129-174 p.
- WALLACE, T. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. Her Majesty's Stationary Office, London, p.125.
- WALKER, T.W. 1957. The sulfur cycle in grassland soils. Journal Britanic Grassland Society 12 : 10-18.
- WESTERMANN, D.T. 1974. Indexes of sulphur deficiency in alfafa. I- Extractable soil  $SO_4-S$ . Agronomy Journal,



Madison, 66 : 578-581.

WILLIAMS, G.H. & STEINBERGS, A. 1959. Soil sulphur fractions as chemical indices of available sulphur in some Australian soils. Australian Journal of Agricultural research, Melbourne, 10(3):340-52.

WOLFFENBUTTEL, R. & TEDESCO, M.J. 1981. Disponibilidade do enxofre para a alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul e sua relação com parâmetros de solo. Agroonomia Sulriograndense, Porto Alegre, 17 (2) 357-76.

#### APÊNDICES

APÊNDICE 1 - Teores de Nitrogênio (N) e Potássio (K) em folhas e tubérculos de batatas, com adições adicionais de P e K no cultivo em vasos (1000 ml).

| Solo | Teor        |     | Adicionado      |     |                 |     |
|------|-------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
|      | P           | K   | P               |     | K               |     |
|      |             |     | 1s              | 2s  | 1s              | 2s  |
|      | ---(ppm)--- |     | ---(mg/vaso)--- |     | ---(mg/vaso)--- |     |
| 01   | 1           | 270 | 300             | 400 | 60              | 60  |
| 02   | 1           | 150 | 300             | 400 | 100             | 100 |
| 03   | 73          | 60  | 100             | 150 | 200             | 200 |
| 04   | 3           | 60  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 05   | 24          | 50  | 100             | 150 | 100             | 100 |
| 06   | 1           | 20  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 07   | 1           | 150 | 300             | 400 | 100             | 100 |
| 08   | 2           | 60  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 09   | 25          | 120 | 100             | 150 | 100             | 100 |
| 10   | 8           | 70  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 11   | 5           | 60  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 12   | 14          | 220 | 100             | 150 | 60              | 60  |
| 13   | 7           | 100 | 200             | 300 | 100             | 100 |
| 14   | 6           | 160 | 200             | 300 | 100             | 100 |
| 15   | 2           | 50  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 16   | 2           | 20  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 17   | 2           | 20  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 18   | 5           | 40  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 19   | 5           | 20  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 20   | 9           | 40  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 21   | 10          | 20  | 100             | 150 | 200             | 200 |
| 22   | 17          | 170 | 100             | 150 | 100             | 100 |
| 23   | 20          | 20  | 100             | 150 | 200             | 200 |

**APÊNDICES**

APÊNDICE 2 - Resumo da análise de variância para os valores

APÊNDICE 1 - Teores de P (Mehlich) e K (NH<sub>4</sub>OAc) dos solos estudados e quantidades de P (Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) e K (KCl) adicionados para o cultivo do sorgo (1º e 2º corte).

| Solo | Teor        |     | Adicionado      |     |                 |     |
|------|-------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
|      | P           | K   | P               |     | K               |     |
|      |             |     | 1º              | 2º  | 1º              | 2º  |
| Nº   | ---(ppm)--- |     | ---(mg/vaso)--- |     | ---(mg/vaso)--- |     |
| 01   | 1           | 270 | 300             | 400 | 60              | 60  |
| 02   | 1           | 150 | 300             | 400 | 100             | 100 |
| 03   | 73          | 60  | 100             | 150 | 200             | 200 |
| 04   | 3           | 60  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 05   | 24          | 50  | 100             | 150 | 100             | 100 |
| 06   | 1           | 20  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 07   | 1           | 140 | 300             | 400 | 100             | 100 |
| 08   | 2           | 60  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 09   | 25          | 120 | 100             | 150 | 100             | 100 |
| 10   | 8           | 90  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 11   | 5           | 60  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 12   | 14          | 220 | 100             | 150 | 60              | 60  |
| 13   | 7           | 100 | 200             | 300 | 100             | 100 |
| 14   | 6           | 160 | 200             | 300 | 100             | 100 |
| 15   | 2           | 50  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 16   | 2           | 20  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 17   | 2           | 20  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 18   | 5           | 40  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 19   | 5           | 20  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 20   | 9           | 40  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 21   | 10          | 20  | 100             | 150 | 200             | 200 |
| 22   | 17          | 170 | 100             | 150 | 100             | 100 |
| 23   | 20          | 20  | 100             | 150 | 200             | 200 |

|                   | GL | Quadrado médio | Valor F  |
|-------------------|----|----------------|----------|
| Blocos            | 2  | 9,82           | 6,49 **  |
| Solos             | 22 | 6,29           | 7,29 **  |
| Enxofre           | 1  | 6,42           | 10,51 ** |
| Solos x enxofre   | 22 | 6,37           | 1,63 **  |
| Erro experimental | 98 | 6,34           |          |

Coefficiente de variacão = 13,84%

APÊNDICE 2 - Resumo da análise de variância para os valores de: a) rendimento de matéria seca; b) concentração de S no tecido; c) concentração de N no tecido; d) concentração de P no tecido e e) quantidade de S absorvido por plantas de sorgo forrageiro, no 1º corte e em dois níveis de S.

Causas de variações GL Quadrado médio Valor F

a) Matéria seca

Blocos 2 0,042 0,79 ns

Causas de variação GL Quadrado médio Valor F

Solos x enxofre 22 22,76 38,87 \*\*  
 Blocos 2 0,34 0,58 ns  
 Solos (parte da variação = 7,4%) 22 22,76 38,87 \*\*  
 Enxofre 1 46,54 79,47 \*\*  
 Solos x enxofre (as plantas) 22 5,16 8,82 \*\*  
 Erro experimental 90 0,58

Coefficiente de variação = 7,43% Quadrado médio Valor F

b) Concentração de S no tecido

Blocos 2 0,5 0,35 ns

Causas de variação GL Quadrado médio Valor F

Solos x enxofre 22 17,02 \*\*  
 Blocos 2 0,001 0,44 ns  
 Solos (parte da variação = 1,52%) 22 0,004 11,01 \*\*  
 Enxofre 1 0,127 352,45 \*\*  
 Solos x enxofre 22 0,002 4,24 \*  
 Erro experimental 90 0,001

Coefficiente de variação = 19,79%

c) Concentração de N no tecido

Causas de variações GL Quadrado médio Valor F

Blocos 2 0,02 0,49 ns  
 Solos 22 0,29 7,20 \*\*  
 Enxofre 1 0,42 10,44 \*\*  
 Solos x enxofre 22 0,07 1,65 \*\*  
 Erro experimental 90 0,04

Coefficiente de variação = 13,86%

Continuação...

d) Concentração de P no tecido

| Causas de variações | GL | Quadrado médio | Valor F  |
|---------------------|----|----------------|----------|
| Blocos              | 2  | 0,002          | 0,79 ns  |
| Solos               | 22 | 0,032          | 12,85 ** |
| Enxofre             | 1  | 0,002          | 0,95 ns  |
| Solos x enxofre     | 22 | 0,006          | 2,36 ns  |
| Erro experimental   | 90 | 0,002          |          |

Coeficiente de variação = 14,74%

e) S absorvido pelas plantas

| Causas de variações | GL | Quadrado médio | Valor F    |
|---------------------|----|----------------|------------|
| Blocos              | 2  | 0,5            | 0,35 ns    |
| Solos               | 22 | 84,87          | 59,65 **   |
| Enxofre             | 1  | 1636,63        | 1146,03 ** |
| Solos x enxofre     | 22 | 24,22          | 17,02 **   |
| Erro experimental   | 90 | 1,42           |            |

Coeficiente de variação = 11,52%

c) Concentração de N no tecido

| Causas de variações | GL | Quadrado médio | Valor F  |
|---------------------|----|----------------|----------|
| Blocos              | 2  | 0,834          | 0,57 ns  |
| Solos               | 22 | 0,319          | 3,41 *   |
| Enxofre             | 1  | 2,016          | 34,10 ** |
| Solos x enxofre     | 22 | 0,291          | 4,92 *   |

Coeficiente de variação = 11,28%

APÊNDICE 3 - Resumo da análise de variância para os valores:  
 a) rendimento de matéria; b) concentração de S no tecido; c) concentração de N no tecido; d) concentração de P no tecido; e e) quantidade de S absorvido por plantas de sorgo forrageiro, no 2º corte e em dois níveis de S.

a) Rendimento de matéria seca

| Causas de variações | GL | Quadrado médio | Valor F   |
|---------------------|----|----------------|-----------|
| Blocos              | 2  | 1,16           | 0,33 ns   |
| Solos               | 22 | 70,70          | 20,01 **  |
| Enxofre             | 1  | 3209,93        | 908,42 ** |
| Solos x enxofre     | 22 | 16,56          | 4,69 *    |
| Erro experimental   | 90 | 3,53           |           |

Coeficiente de variação = 12,37%

b) Concentração de S no tecido

| Causas de variações | GL | Quadrado médio | Valor F     |
|---------------------|----|----------------|-------------|
| Blocos              | 2  | 0,01           | 4,42 **     |
| Solos               | 22 | 0,00           | - ns        |
| Enxofre             | 1  | 0,43           | 11633,00 ** |
| Solos x enxofre     | 22 | 0,01           | 4,97 **     |
| Erro experimental   | 90 | 3,53           |             |

Coeficiente de variação = 16,11%

c) Concentração de N no tecido

| Causas de variações | GL | Quadrado médio | Valor F  |
|---------------------|----|----------------|----------|
| Blocos              | 2  | 0,034          | 0,57 ns  |
| Solos               | 22 | 0,319          | 5,41 *   |
| Enxofre             | 1  | 2,016          | 34,12 ** |
| Solos x enxofre     | 22 | 0,291          | 4,92 *   |

Coeficiente de variação = 11,28%

APÊNDICE 1 - Teores de P (Mehlich) e K ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) dos solos estudados e quantidades de P ( $\text{Na}_2\text{PO}_4$ ) e K (KCl) adicionados para os dois cultivos sucessivos (1º e 2º corte).

| Solo | Teor              |     | Adicionado      |     |                 |     |
|------|-------------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
|      | P                 | K   | P               |     | K               |     |
|      |                   |     | 1º              | 2º  | 1º              | 2º  |
| Nº   | ----- (ppm) ----- |     | -- (mg/vaso) -- |     | -- (mg/vaso) -- |     |
| 01   | 1                 | 270 | 300             | 400 | 60              | 60  |
| 02   | 1                 | 150 | 300             | 400 | 100             | 100 |
| 03   | 73                | 60  | 100             | 150 | 200             | 200 |
| 04   | 3                 | 60  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 05   | 24                | 50  | 100             | 150 | 100             | 100 |
| 06   | 1                 | 20  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 07   | 1                 | 140 | 300             | 400 | 100             | 100 |
| 08   | 2                 | 60  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 09   | 25                | 120 | 100             | 150 | 100             | 100 |
| 10   | 8                 | 90  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 11   | 5                 | 60  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 12   | 14                | 220 | 100             | 150 | 60              | 60  |
| 13   | 7                 | 100 | 200             | 300 | 100             | 100 |
| 14   | 6                 | 160 | 200             | 300 | 100             | 100 |
| 15   | 2                 | 50  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 16   | 2                 | 20  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 17   | 2                 | 20  | 300             | 400 | 200             | 200 |
| 18   | 5                 | 40  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 19   | 5                 | 20  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 20   | 9                 | 40  | 200             | 300 | 200             | 200 |
| 21   | 10                | 20  | 100             | 150 | 200             | 200 |
| 22   | 17                | 170 | 100             | 150 | 100             | 100 |
| 23   | 20                | 20  | 100             | 150 | 200             | 200 |

Continuação...

d) Concentração de P no tecido

| Causas de variações | GL | Quadrado médio | Valor F  |
|---------------------|----|----------------|----------|
| Blocos              | 2  | 0,002          | 0,14 ns  |
| Solos               | 22 | 0,035          | 13,99 ** |
| Enxofre             | 1  | 0,128          | 50,87 ** |
| Solos x enxofre     | 22 | 0,009          | 3,77 ns  |
| Erro experimental   | 90 | 0,003          |          |

Coefficiente de variação = 13,21%

e) S absorvido pelas plantas

| Causas de variações | GL | Quadrado médio | Valor F    |
|---------------------|----|----------------|------------|
| Blocos              | 2  | 0,56           | 0,05 ns    |
| Solos               | 22 | 134,24         | 12,90 **   |
| Enxofre             | 1  | 22140,06       | 2127,06 ** |
| Solos x enxofre     | 22 | 49,76          | 4,78 *     |
| Erro Experimental   | 90 | 10,40          |            |

Coefficiente de variação = 18,05%