

# unesp



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**Pós-Graduação em Agronomia**

**DO**

**DO**

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO  
DE ESCÓRIA SILICATADA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ**

**MARIA LUIZA DE SOUZA SILVA**

**S**

**M**

**M**

**Ilha Solteira - SP**

1210001274



**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO  
DE ESCÓRIA SILICATADA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ**

**MARIA LUIZA DE SOUZA SILVA**

Química

**ILHA SOLTEIRA**  
**Estado de São Paulo - Brasil**  
**Julho-2001**





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

Maria Luiza de Souza Silva

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO  
DE ESCÓRIA SILICATADA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ**

**MARIA LUIZA DE SOUZA SILVA**

Química

**Prof. Dr. FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES**

Orientador

1210001274



*Proc. 071/2002-NRD 34*

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO
<i>06.05.02</i>	<i>30.05.02</i>
REGISTRO	TOMBO
<i>Luiza</i>	<i>Te. 1274</i>
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
<i>Ilha Solteira Autor R\$ 10,00</i>	

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - área de Concentração em Sistemas de Produção.

*Dep - 169244*  
*Dep - 54182*

**ILHA SOLTEIRA**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Julho-2001

*50101030 QUIMICA DO SOLO*

*S586d*





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO

DE ESCÓRIA SILICATADA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ

MARIA LUIZA DE SOUZA SILVA

Silva, Maria Luiza de Souza

S586d

Disponibilidade de fósforo em solos com aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez / Maria Luiza de Souza Silva. -- Ilha Solteira, 2001 v, 65 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de Concentração : Sistemas de Produção, 2001

Orientador: Francisco Maximino Fernandes

Inclui bibliografia e índice

1. Solos-Correção de acidez-Fósforo e silício 2. Solos-Correção de acidez-Escória-Fósforo e silício

# **DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE ESCÓRIA SILICATADA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ**

**Maria Luiza de Souza Silva**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE  
ILHA SOLTEIRA – UNESP COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO  
DO TÍTULO DE MESTRE EM AGRONOMIA**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
**Prof. Dr. Francisco Maximino Fernandes**  
Orientador

  
**Prof. Dr. William Natale**

  
**Prof. Dr. Salatiér Buzetti**

**Ilha Solteira – SP  
julho de 2001**

## **OFEREÇO**

A DEUS.

À ESPIRITUALIDADE AMIGA.

"A vida escreve em toda parte aquilo que pensamos.

E nós somos autores de todos os capítulos que desenrolam por fatos vivos, no livro da eternidade" (Hilário Silva).

## **DEDICO**

Aos meus amados pais, Mauro Amaral da Silva e Maria Lourdes de Souza Silva, pelo exemplo de vida e ensinamentos. Aos meus adorados irmãos, pela união. Aos meus estimados amigos, pela dedicação. Pois, com amor e compreensão, souberam transmitir-me a força necessária à realização desta tarefa.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por ser meu guia e estar sempre presente em minha vida me fortalecendo.

Aos meus pais e irmãos pelo amor, apoio, paciência e compreensão durante a minha vida.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da UNESP - Agronomia, pela oportunidade concedida para a realização do curso de Mestrado.

Ao CONSELHO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA e a CAPES pela concessão de bolsa de estudo para realização deste curso.

Ao Prof. Dr. FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES, pela orientação, apoio e amizade.

Aos Professores do curso, pelos ensinamentos, colaborações, incentivo e companheirismo.

Aos meus amigos(as) de curso, pelo apoio, amizade e momentos felizes de descontração.

Aos Professores Dr. Gaspar Henrique Korndorfer e Dr<sup>a</sup>. Kátia Luciene Maltoni, pelas sugestões, apoio e colaboração ao trabalho.

Ao Dr. Wilson Caixeta Piau da "Silifértil Ambiental Ltda.", pela doação da escória utilizada no estudo e pelas informações prestadas.

Aos funcionários do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, pelo auxílio direto e indireto nos trabalhos.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa e do Pomar, da UNESP de Ilha Solteira, pelo auxílio no experimento.

Aos funcionários da Biblioteca da UNESP de Ilha Solteira, pelo ensinamento e apoio à realização das pesquisas.

Aos funcionários da seção de Pós - Graduação, pela atenção, amizade e trabalho prestados.

Aos funcionários dos laboratórios, em especial ao João Batista Mariano de Carvalho, Carlos Araújo da Silva e André Luiz da Silva, pela amizade, auxílio e trabalho prestados.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para elaboração desse trabalho.



## ÍNDICE

	Página
1 INTRODUÇÃO .....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	7
2.1. Comportamento do silício no solo .....	7
2.2 Comportamento do fósforo no solo .....	10
2.3 Interação entre silício e fósforo no solo .....	13
2.4. Fatores que governam a disponibilidade de Si na solução do solo .....	14
2.5 Silício na planta .....	16
2.6 Comportamento da escória silicatada como corretivo agrícola .....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1 Local do experimento .....	21
3.2 Caracterização da escória de siderurgia .....	22
3.3 Determinação do valor "X" .....	23
3.4 Delineamento experimental e tratamentos.....	24
3.5 Instalação do experimento .....	25
3.5.1 Coleta e preparo dos solos .....	25
3.5.2 Incubação dos solos com corretivo .....	25
3.5.3 Incubação dos solos com fósforo .....	25
3.5.4 Adubação básica e semeadura .....	25
3.5.5 Tratos culturais .....	26
3.6 Avaliações .....	26
3.6.1 Solo .....	26
3.6.2 Planta .....	27
3.6.3 Acúmulo de fósforo e silício na parte aérea das plantas .....	27
4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5.1 Efeito dos tratamentos nos atributos químicos dos solos .....	29
5.1.1. Correção da acidez .....	31
5.1.2. Disponibilidade de fósforo e silício .....	36

5.2. Efeito dos tratamentos na planta .....	41
5.2.1. Matéria seca da planta .....	43
5.2.2. Fósforo e silício acumulados na planta .....	44
5 CONCLUSÕES .....	49
6 REFERÊNCIAS .....	50
7 APÊNDICE .....	61
2 Análise química dos solos utilizados no experimento, no procedimento de 0-20 cm .....	22
3 Resultados gerais das análises químicas (matéria seca) da matéria orgânica da siderita depositada pela superfície ambiental Lata .....	23
4 Caracterização química, mineralógica, modo de cristalização e poder redutor de cristalização total da siderita de origem .....	24
5 Quantidade de fósforo (P) utilizada no experimento, em relação ao valor "X" de cada solo .....	24
6 Quantidade de matéria orgânica utilizada no experimento, em função dos níveis de saturação por bases desajustadas .....	24
7 Esquema de análise de variância de caráter geral dos graus de liberdade dos tratamentos .....	28
8 Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à pH, saturação por bases, fósforo e silício após a incubação com siderita .....	30
9 Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à pH, saturação por bases, fósforo e silício após a incubação com fósforo .....	30
10 Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à pH, saturação por bases, fósforo e silício após a incubação .....	31
11 Valores gerais de pH nos solos em função dos níveis de saturação por bases .....	32
12 Valores gerais de pH nos solos em função dos níveis de saturação por bases de fósforo .....	33
13 Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases de fósforo para pH .....	33

## LISTA DE TABELAS

	Página
1 Teores de caulinita (Ka), Goethita (Gt) e Hematita (Hm), determinados por alocação, na fração argila, dos solos estudados.....	22
2 Análise química dos solos utilizados no experimento, na profundidade de 0-20 cm.....	22
3 Resultado médio das análises químicas (teores totais) da escória silicatada de siderurgia fornecida pela Silifertil Ambiental Ltda.....	23
4 Caracterização química, reatividade, poder de neutralização e poder relativo de neutralização total da escória de aciária.....	23
5 Quantidade de fósforo (ST) utilizada no experimento, referentes ao valor "X" de cada solo.....	24
6 Quantidade de escória silicatada utilizada no experimento, em função dos níveis de saturação por bases desejados.....	24
7 Esquema da análise de variância com desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos.....	28
8 Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à pH, saturação por bases, fósforo e silício após a incubação com escória de aciária.....	30
9 Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à pH, saturação por bases, fósforo e silício após a incubação com fósforo.....	30
10 Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à pH, saturação por bases, fósforo e silício após o cultivo.....	31
11 Valores médios de pH nos solos em função dos níveis de saturação por bases.....	32
12 Valores médios de pH nos solos em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.....	33
13 Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para pH.....	33



14	Valores médios de saturação por bases nos solos em função dos níveis de saturação por bases.....	35
15	Valores médios de saturação por bases nos solos em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.....	35
16	Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para saturação por bases.....	36
17	Valores médios de fósforo nos solos em função dos níveis de saturação por bases.....	37
18	Valores médios de fósforo nos solos em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.....	38
19	Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para fósforo.....	39
20	Valores médios de silício nos solos em função dos níveis de saturação por bases.....	40
21	Valores médios de silício nos solos em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.....	40
22	Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para silício.....	41
23	Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à matéria seca das plantas e das raízes.....	42
24	Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à fósforo e silício acumulados nas plantas.....	42
25	Valores médios de matéria seca da parte aérea em função dos níveis de saturação por bases.....	43
26	Valores médios de matéria seca da parte aérea em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.....	43
27	Valores médios de matéria seca das raízes em função dos níveis de saturação por bases.....	44
28	Valores médios de matéria seca das raízes em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.....	44
29	Valores médios de fósforo acumulado nas plantas em função dos níveis de saturação por bases.....	45



30	Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para fósforo acumulado nas plantas.....	45
31	Valores médios de fósforo acumulado nas plantas em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.....	46
32	Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos e fósforo para fósforo acumulado nas plantas.....	46
33	Valores médios de silício acumulado nas plantas em função dos níveis de saturação por bases.....	47
34	Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para silício acumulado nas plantas.....	47
35	Valores médios de silício acumulado nas plantas em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.....	48
36	Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos e fósforo para silício acumulado nas plantas.....	48

## RESUMO

SILVA, Maria Luiza de Souza. **Disponibilidade de fósforo em solos com aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez.** Ilha Solteira, 2001. 65p. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) - UNESP - Ilha Solteira.

A adsorção de fosfato é bastante dependente da presença dos óxidos de ferro, constituintes frequentes e abundantes dos solos de regiões tropicais úmidas, onde as condições que favorecem o intemperismo se fazem presentes. O uso de corretivos pode atenuar o problema de "fixação" de fósforo nos solos, pois com a elevação do pH, ocorre um aumento da solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio e redução na adsorção do ânion fosfato à fase sólida do solo. Como técnica alternativa para a correção da acidez do solo, pode-se utilizar a escória de siderurgia, um resíduo da indústria do aço e ferro-gusa, constituída de silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ), com propriedades corretivas de solo semelhante ao calcário. Assim, o presente trabalho teve como finalidade avaliar a disponibilidade do fósforo em solos ácidos, originalmente sob vegetação de cerrado, com diferentes características mineralógicas da fração argila, após a correção do pH e aplicação de fósforo, utilizando como corretivo da acidez a escória de siderurgia (silicato de cálcio), e como planta teste o sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench). O trabalho foi realizado em casa de vegetação. Os solos, nos quais o experimento foi conduzido são caracterizados como Latossolo Vermelho Distrófico típico, A moderado, textura argilo-arenosa (S1), Latossolo Vermelho Distrófico, A moderado, textura argilosa, (S2) e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, A moderado, textura argilosa (S3). Os três solos são essencialmente



### SUMMARY

SILVA, Maria Luiza de Souza. **Availability of phosphorus in soils applied silicated slag as corrective of acidity.** Ilha Solteira, 2001. 65p. Dissertation (Master's degree Production Systems) - UNESP - Ilha Solteira.

The phosphate adsorptions quite of iron oxide presence, frequent and plentiful constituent in soils of humid tropical regions, where the conditions which propiciate the weathering are shown. The usage of correctives can attenuate the problem of phosphorus fixation in soils, therefore the pH rise, there is increase of solubility of aluminium and iron phosphate and reduction in the phosphate anion adsorption to solid phase of soil. As technical alternative to correct the acidity of soil, can be used the siderurgy slag, residue of iron and pig industry composed of calcium silicate, with soil corrective properties similar calcareous. Thus, this work had the purpose to evaluate the availability of phosphorus in acid soli, under meadow originally, with diferent mineralogical characteristics of clay fraction, after the correction of pH and phosphorus applied, using the siderury slag (Calcium silicate) as corrective of acidity, and sorghum as a test plant. The work was done in green house. The soils, which the experiment was carried, are characterized as typical dystrophic Red Latosol, moderete A, sandy clay texture (S1), dystrophic Red Latosol, moderete A, argilaceous texture (S2) and dystrophic yellow-Red Latosol, moderete A, argilaceous texture (S3). The three soils are caulinitics essentially, iron oxide variation is shown, goethite and hematite. The experimental outline used was the wholly casual in factorial scheme  $3 \times 4 \times 2$ , four repetition with 96 experiment



cauliníticos, apresentando alguma variação dos óxidos de ferro, goethita e hematita. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $3 \times 4 \times 2$ , com quatro repetições, totalizando 96 unidades experimentais (vasos com capacidade de  $4\text{dm}^3$ ). Os fatores foram constituídos de três solos, quatro níveis de correção com escória ( $V_1$ =original,  $V_2$ =50%,  $V_3$ =70% e  $V_4$ =90%) e dois níveis de fósforo ( $P_1$ = sem adição de P;  $P_2$ = adição de P equivalente a duas vezes o valor "x"). Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que a escória de aciária corrigiu a acidez, e elevou a disponibilidade de fósforo, para os três solos estudados. O LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, com maior teor de goethita, foi o que apresentou maior disponibilidade de fósforo após a incubação com a escória. A escória de aciária atuou também no teor de silício no solo e na planta, sendo que o LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico foi o que apresentou os maiores teores de silício no solo, e o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, com maior teor de hematita, foi o que apresentou os maiores teores de silício e fósforo acumulados na parte aérea da planta.



units in totality (vase with 4 dm<sup>3</sup> of capacity). The factors were done of three soils, four levels of correction with slag (V1=original, V2=50%, V3=70% and V4=90%) and two levels of phosphorus (P1=without addition of P, P2=addition of equivalent P twice the "x" value). By the results obtained, it may conclude that the steel plant slag corrected the acidity, and it rose the availability of phosphorus, for the three studied soils. The dystrophic Yellow-Red Latosol, with greater content of gothite, showed greater availability of phosphorus after prepared with slag. The steel plant slag was used in silicon content in soil and plant too, that dystrophic Yellow-Red Latosol showed the greatest silicon content, showed the greatest silicon and phosphorus content accumulated the aerial part plant.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das limitações para a agricultura é a baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas. Isso ocorre devido à baixa fertilidade natural dos solos, especialmente em áreas de solos ácidos e pobres em nutrientes. A disponibilidade de nutrientes é afetada por fatores como a acidez do solo, a presença de íons de alumínio e manganês, a formação de compostos insolúveis e a baixa capacidade de retenção de nutrientes. A disponibilidade de nutrientes é afetada por fatores como a acidez do solo, a presença de íons de alumínio e manganês, a formação de compostos insolúveis e a baixa capacidade de retenção de nutrientes.

O fósforo é o nutriente mais limitado para o crescimento e desenvolvimento vegetal e, consequentemente, para a produção agrícola. Esta limitação ocorre não somente pela sua importância no metabolismo das plantas, mas também pela sua forte interação com a água, afetando tanto os níveis de nutrientes no solo quanto a taxa de disponibilidade do elemento e, portanto, afetando os processos de absorção e utilização. Portanto, para superar a deficiência de nutrientes e para a obtenção de altos níveis de produtividade das culturas, é necessária a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes. Entretanto, a correção que apenas uma fração do fósforo aplicado ao solo, variando de 10 a 20%, é aproveitada por um ciclo de cultura, e o restante permanece no solo sendo pouco absorvida pelas plantas e parte combinada com os componentes do solo, formando compostos insolúveis (INDALE & NELSON, 1969).

Assim sendo, para uma aplicação racional e econômica de nutrientes



... e a capacidade de adsorção do fósforo no solo, bem como a disponibilidade das espécies de fósforo livre derivado pelas condições do solo e a eficiência da planta na utilização do aproveitamento do fósforo pelas plantas, resultando o máximo rendimento possível.

O uso do sulfato de cálcio pode atuar no problema de "fixação" do fósforo nos solos, pois com a adição do  $\text{pH}$ , ocorre um aumento da solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio e redução da adsorção do íon fosfato à fase sólida do solo. Como técnicas alternativas para a correção da acidez do solo, podem utilizar a escória de siderurgia, um resíduo de indústria do aço e interações de óxido de cálcio de calcário ( $\text{CaSO}_4$ ), para corrigir os solos ácidos. Anualmente, esse

## 1 - INTRODUÇÃO

... utilizado na agricultura brasileira, se concentra em algumas partes como Estados Unidos, Japão e França, permitindo a produção de uma tonelada de ácido de  $\text{pH}$ , pode ocorrer a disponibilidade de fósforo para as plantas pelo ciclo adicional de fertilizamento.

Uma das limitações para a agricultura, em mais da metade dos solos agricultáveis dos trópicos, está relacionada à sua baixa fertilidade natural pois, em sua maioria, têm reação ácida e são pobres, inclusive em fósforo disponível, exibindo adicionalmente uma alta capacidade de adsorção deste nutriente. A adsorção de fosfato é bastante dependente da presença dos óxidos de ferro, constituintes frequentes e abundantes dos solos de regiões tropicais úmidas, onde as condições que favorecem o intemperismo se fazem presentes.

O fósforo é o nutriente mais limitante para o crescimento e desenvolvimento vegetal e, conseqüentemente, para a produção nestas áreas. Este nutriente destaca-se não somente pela sua importância no metabolismo das plantas, mas também pela sua forte interação com o solo, atribuída tanto aos baixos teores totais como também à baixa disponibilidade do elemento em questão, relacionada aos processos de adsorção e precipitação. Contudo, para suprir a deficiência deste nutriente e para a obtenção de uma boa produtividade das culturas, é necessária a aplicação de grandes quantidades de fósforo. Entretanto, é conhecido que apenas uma fração do fósforo aplicado ao solo, variando de 15 a 25%, é aproveitada por um ciclo de cultura, e o restante permanece no solo sendo parte adsorvida pelos colóides e, parte combinada com os componentes do solo, ficando sob forma insolúvel (TISDALE & NELSON, 1969).

Assim sendo, para uma aplicação racional e econômica de adubos

fosfatados é necessário a compreensão das interações do fósforo com o solo, bem como a reversibilidade das reações de adsorção deste elemento pelos componentes do solo e, a utilização de práticas que condicionem maior aproveitamento do fósforo pelas plantas, possibilitando o máximo rendimento agrícola.

O uso de corretivos da acidez pode atenuar o problema de "fixação" de fósforo nos solos, pois com a elevação do pH, ocorre um aumento da solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio e redução na adsorção do ânion fosfato à fase sólida do solo. Como técnica alternativa para a correção da acidez do solo, pode-se utilizar a escória de siderurgia, um resíduo da indústria do aço e ferro-gusa, constituída de silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ), com propriedades corretivas semelhante ao calcário. Atualmente, esse subproduto é pouco utilizado na agricultura brasileira, ao contrário de alguns países como Estados Unidos, Japão e China. A correção da acidez do solo com silicatos, além de elevar o pH, pode aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas pelo efeito adicional do deslocamento do fósforo adsorvido para a solução ou bloqueamento dos sítios de adsorção, pois o silicato é um ânion capaz de competir com o fosfato pelos mesmos sítios de adsorção nos colóides do solo.

Em função do grande domínio dos latossolos no Brasil, solos estes reconhecidamente com elevada capacidade de adsorção de fósforo, com comportamento bastante diferenciado e influenciado pela composição mineralógica da fração argila, torna-se relevante neste estudo, a consideração das características desta fração dos solos. Assim, o presente trabalho teve como finalidade avaliar a disponibilidade do fósforo em solos ácidos, originalmente sob vegetação de cerrado, com diferentes características mineralógicas da fração argila, após a correção do pH e aplicação de fósforo, utilizando como corretivo da acidez a escória de siderurgia (silicato de cálcio), e como planta teste o sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench).

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Comportamento do silício no solo

Os solos são formados como resultado da interação entre o material de origem, clima e organismos vivos, sob influência do tempo. Ainda hoje, os solos são estudados e agrupados segundo o resultado de vários processos envolvendo adições, transformações, remoções, e transporte de materiais. A maioria das transformações químicas estão relacionadas aos minerais silicatados, os quais estão presentes no solo e variam segundo a duração e intensidade dos fatores responsáveis pela formação dos solos.

O silício compreende 27,6% da crosta terrestre, apresentando-se em formas livres e combinadas, como componente dominante da fração sólida, e dissolvido na solução do solo. A desestruturação dos silicatos primários, a translocação de silício em solução e a formação de substâncias secundárias contendo silício são os processos que estão envolvidos no desenvolvimento dos solos. A remoção de silício (dessilicatização) é o principal processo envolvido nas transformações da illita até gibsita e está diretamente relacionado à quantidade de água no local. Este é também, o principal processo de fornecimento de sílica para a solução do solo (JACKSON et al., 1948, citados por MCKEAGUE & CLINE, 1963).

A capacidade de liberação de sílica para a solução de um solo é influenciada pelo teor de argila, em virtude de sua adsorção aos sesquióxidos que retém

$\text{SiO}_2$  e pelo grau de intemperismo do solo, mostrando que essa quantidade é diretamente dependente da estabilidade dos minerais da fase sólida. Quanto menor a estabilidade do mineral, maior é a ação do intemperismo do solo. Esta estabilidade se baseia no tamanho das partículas; quanto menor a partícula maior é sua superfície específica, e no número de grupos de ligações Si-OH na estrutura interna, quanto maior o número de ligações maior a estabilidade dos minerais, além de ser influenciada pela temperatura, pH, adsorção, umidade e potencial de óxido-redução (MCKEAGUE & CLINE, 1963; RAIJ & CAMARGO, 1973; BELLINGIERI, 1979).

Em regiões temperadas os teores de silício, como  $\text{SiO}_2$ , excedem os dos sesquióxidos de Al e Fe; já nos solos das regiões tropicais acontece o contrário. Está presente em minerais primários e secundários, com resistência muito diferente ao intemperismo. Quando os silicatos são decompostos, há liberação do silício para a solução do solo na forma de ácido monossilícico,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , desde que o pH esteja abaixo de 9. Com a troca do fosfato, fixado em sesquióxidos pelo íon silicato, ocorre um aumento da disponibilidade de fósforo, explicando em parte o efeito favorável do Si no crescimento e na produção de algumas espécies (MALAVOLTA, 1980).

Nos solos minerais o silício é proveniente da intemperização dos minerais primários e particularmente dos minerais secundários como as argilas (KORNDÖRFER et al., 1995). Porém, solos muito intemperizados apresentam baixos teores de silício trocável e baixa relação  $K_i$ . Estes solos apresentam, em alguns casos, teores menores que 2 ppm no extrato saturado.

Em solos de textura e idade variadas do estado de São Paulo, RAIJ & CAMARGO (1973) verificaram os menores valores de Si solúvel no latossolo fase arenosa, e os maiores valores num podzólico argiloso, atribuindo a referida observação à reduzida porcentagem de argila no latossolo, aliada à menor superfície específica total em relação ao podzólico, menos intemperizado e mais argiloso. Os autores verificaram, ainda, teores de Si extraível com  $\text{CaCl}_2$   $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$ , variando de 1 a  $43 \text{ mg dm}^{-3}$ , sendo os valores maiores encontrados nos solos mais argilosos, havendo também uma relação inversa com o grau de intemperismo. Solos ricos em óxidos de Fe e Al, como os solos intemperizados das regiões de clima tropical, apresentam quantidade de Si 5 a 10 vezes menores que solos de regiões temperadas, devido à ausência de minerais primários (FOY, 1992).

KORNDÖRFER et al. (2000) relatam que os podzólicos, por se tratarem

de solos em que o processo de dessilicização é moderado, apresentam menores índices de intemperismo ( $K_i$ ), o que indica a presença de minerais de alta atividade na fração argila (ex.: montmorilonita), os quais poderiam liberar Si para as plantas mais facilmente.

O silício encontra-se presente como silicato ou como óxido na fase sólida do solo e, na solução do solo na forma solúvel. Seus teores podem variar de  $400 \text{ g kg}^{-1}$  em solos arenosos, valores extremos, até  $80 \text{ g kg}^{-1}$  em solos tropicais altamente intemperizados, valores extremamente baixos (TISDALE et al. 1985).

O silício está presente na solução do solo sob forma pouco dissociada  $\text{Si(OH)}_4$ , porém sujeita a interagir com o complexo sortivo (MCKEAGUE & CLINE, 1963). Assim, a sílica dissolvida nos solos é um soluto ativo, não um componente passivo que será obrigatoriamente perdido por lixiviação logo após a intemperização das rochas (MCKEAGUE & CLINE, 1963).

Uma característica peculiar do monômero  $\text{Si(OH)}_4$  é a capacidade de sair do estado de coordenação quatro (tetraedro) e assumir estado de coordenação seis (octaedro) quando a concentração do monômero na fase líquida do solo ultrapassa  $56 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si. O composto hexacoordenado formado nessas condições é o ponto de partida para a polimerização, que precede a precipitação e é causada pela combinação de unidades de  $[\text{H}_2\text{OSi(OH)}_5]$ . Haverá precipitação quando combinarem-se polímeros de  $[\text{H}_2\text{OSi(OH)}_5]$  com monômeros solúveis de  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  (MCKEAGUE & CLINE, 1963; MARSCHNER, 1995).

A dinâmica do Si no solo é melhor explicada pela cinética das reações de adsorção e dessorção, as quais podem ser rápidas, controlando os níveis de Si em solução. Vários compostos do solo, como os óxidos de Fe, Al e Mn são capazes de adsorver silício, indicando a importância do processo de adsorção para a química do Si no solo (OBIHARA & RUSSEL, 1972). Experimentos de adsorção de  $\text{Si(OH)}_4$  por goethita e gibsitina sintéticas (HINGSTON et al., 1972) evidenciaram uma curva assintótica de adsorção com máximo em pH 8,5, que seria o valor estimado do  $\text{pK}_a$  desse ácido fraco neste experimento. É postulado que a adsorção específica ocorreria devido a força oriunda da energia de adsorção, a qual seria suficientemente elevada para dissociar o ácido. Os prótons liberados reagiriam com o  $\text{OH}^-$  da superfície para formar água.

Do ponto de vista agrônômico, RAIJ & CAMARGO (1973) citam que as principais formas de silício presentes no solo são: a) Si solúvel ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), que desprovido de

carga elétrica, tem interessantes conseqüências no comportamento do Si com relação aos vegetais; b) Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e os minerais silicatados (cristalinos ou amorfos). A solubilidade destes minerais depende da temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras (rupturas) na sua estrutura. A dissolução destes minerais também é afetada por fatores de solo, tais como: matéria orgânica, teor de umidade, potencial de óxido-redução e sesquióxidos.

Segundo LINDSAY (1979), o pH influencia a solubilidade dos aluminossilicatos, que é reduzida com o aumento desse valor. Assim, em solos intemperizados, com menores valores de pH, a sílica é fortemente exaurida, permanecendo os sesquióxidos de Fe e Al como os principais minerais residuais.

Em geral, a concentração de sílica dissolvida diminui com o pH. O ponto de menor concentração de sílica em solução ocorre a valor de pH 9,0. WOODRUFF (1954), citado por MCKEAGUE & CLINE (1963), verificou que a concentração de sílica em solução aumentou com a redução da saturação por bases. Isto parece lógico, uma vez que a saturação por bases apresenta relação direta com o pH.

## 2.2 - Comportamento do fósforo no solo

No solo, o fósforo ocorre quase que exclusivamente como ânion ortofosfato, derivado do ácido ortofósforico ( $H_3PO_4$ ). Segundo FASSBENDER (1978), o fósforo no solo pode ser reunido em dois grandes grupos, orgânico e inorgânico. Os compostos fosfatados orgânicos que ocorrem no solo, encontram-se diretamente ligados à matéria orgânica e, os fosfatos inorgânicos encontram-se em constante interação com os constituintes sólidos do solo.

O conteúdo total desse nutriente no solo varia, em média, de 0,02 a 0,15%, sendo que 20 a 80% do fósforo total é representado pela forma orgânica (MENGEL & KIRKBY, 1987).

O fósforo encontra-se no solo em diversos tipos de ligações químicas, principalmente em compostos de ferro, alumínio, cálcio e na matéria orgânica (RAIJ & FEITOSA, 1980). O fósforo solúvel, adicionado ao solo como fertilizante, pode assumir diversas formas, sendo agrupados como P-solúvel, P-Al, P-Fe, P-Ca, fosfatos oclusos de ferro e alumínio e P sob formas orgânicas. Estas formas de fósforo existem na dependência

do pH dos solos, dos produtos de solubilidade dos fosfatos, dos cátions presentes nos solos e do grau de intemperização (CHANG & JACKSON, 1958; FASSBENDER et al., 1968; VASCONCELLOS et al., 1975). As formas inorgânicas de fósforo mais conhecidas em solos ácidos são as de fósforo ligado ao ferro e ao alumínio. A transformação de uma forma de fosfato em outra é controlada principalmente pelo pH. À medida que os solos se tornam mais ácidos, a atividade do ferro e do alumínio aumenta e as formas mais solúveis de P-Ca são convertidas em P-Al e P-Fe (CHANG & JACKSON, 1958).

Os solos de regiões tropicais úmidas apresentam alto grau de intemperismo, demonstrado pela degradação dos minerais primários e secundários contendo silício (Si). A riqueza dos solos em Fe e Al, deve-se justamente a hidrólise dos silicatos de Fe e Al, ocorrendo depois uma relação, óxidos de Fe+Al / óxidos de Si, maior que 2,5 (JACKSON & SHERMAN, 1963).

O problema da aplicação de fósforo em solos ácidos tropicais deve-se principalmente ao fato de que os fertilizantes fosfatados passam rapidamente às formas férricas e alumínicas, as quais são pouco aproveitadas pelas plantas (FASSBENDER, 1978).

PEREIRA & FARIA (1998) citam que a reação dos fertilizantes fosfatados com o solo depende, entre outros fatores, do pH, da textura e da natureza do sorvente.

LEAL & VELLOSO (1973), estudando o fosfato adsorvido em latossolos sob vegetação de cerrado, concluíram que o pH teve grande influência na adsorção máxima de fosfato nos latossolos estudados, diminuindo com a elevação do pH. Ao se elevar o pH da solução de 4,0 para 7,0, o fosfato dessorvido variou na ordem de 14 a 20%.

CAMARGO et al. (1976), elevando o pH de seis solos ácidos contendo alumínio com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e  $\text{CaCO}_3$ , observaram que o alumínio a pH baixo, e cálcio trocável a pH mais elevado, influem na fixação de fósforo. Entretanto, a natureza do solo exerce influência, na faixa de pH normalmente encontrada em solos, maior do que os cátions trocáveis e o próprio pH. Esta observação foi confirmada pelo estudo da fixação de fósforo em óxidos de ferro e alumínio e minerais de argila, o qual permitiu aos autores concluir que a natureza e a superfície do material influi decisivamente na quantidade de fósforo fixada.

Conforme NOVAIS & KAMPRATH (1979), a imobilização de fósforo

no solo dá-se por dois mecanismos: um, de adsorção e outro de precipitação. Adsorção é definida como o processo em que o fosfato é quimicamente retido na superfície de compostos como argilas, matéria orgânica, óxido de ferro e alumínio e carbonato de cálcio. A formação de precipitados decorre da reação dos íons de fosfato com íons de alumínio, ferro, manganês, cálcio e magnésio presentes na solução do solo.

A baixa solubilidade dos compostos de fósforo é decorrente da alta capacidade de adsorção do elemento pelos constituintes sólidos do solo (RAIJ, 1991).

DABIN (1970) observou que solos ricos em goethita retinham fósforo com mais energia que solos ricos em hematita. Ademais, o autor verificou que, a curto prazo, o fósforo se unia em maior proporção ao alumínio, ao passo que em prazos maiores, a participação com o ferro era mais importante.

Com base na literatura, é conhecida a preponderância dos óxidos de ferro nos fenômenos de adsorção de fósforo pelo solo, ainda que com divergência a respeito de qual óxido é mais efetivo na adsorção.

BIGHAM et al. (1978) citam que solos mais amarelados, e portanto, mais goethíticos, têm sido mencionados como maiores “fixadores” de fósforo que aqueles mais vermelhos ou hematíticos.

BAHIA FILHO et al. (1983), em estudos de identificação de componentes da fração argila em latossolos de textura e mineralogia variáveis, responsáveis pela adsorção de fosfato, verificaram que a goethita foi o principal mineral responsável pela adsorção de fósforo.

SOUZA et al. (1991), avaliando a extensão das reações de adsorção-dessorção de P pelos minerais dominantes da fração argila de alguns latossolos, verificaram que a goethita, devido ao seu menor tamanho em relação a hematita, foi o fator crítico para que os solos que a apresentavam em maior quantidade tivessem maiores valores de adsorção e menores de dessorção de fósforo.

Via de regra, a goethita tende a adsorver mais P que a hematita, mas nem sempre isso acontece. CORREA (1984) observou que, mesmo em solos aparentemente similares, o mineral mais importante na adsorção pode ser, tanto goethita quanto hematita.

### 2.3 Interação entre silício e fósforo no solo

Em solos ácidos, uma prática que favorece o aproveitamento do P é o emprego de silicatos, como o silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) contido nas escórias de siderurgia (18 a 21%) ou do silicato de magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ) presente em fontes comerciais como o termofosfato magnésiano. O uso desses sais reduz a fixação e aumenta a disponibilidade de P para as plantas (SANCHEZ & UEHARA, 1971 citados por CARVALHO, 1999).

Pelo fato de o ânion silicato ser quimicamente adsorvido, haveria uma competição entre Si e P pelos mesmos sítios de adsorção e, então, a correção de acidez do solo com silicatos, além de elevar o pH, poderia disponibilizar o P pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução (VOLKWEISS & RAIJ, 1977, citados por CARVALHO, 1999).

A principal forma de competição entre Si e P assumida pelos pesquisadores do tema nos últimos 20 anos, é que a ação alcalinizante do  $\text{CaSiO}_3$ , o  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  residual, após sofrer desprotonação, transformando-se em  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ , adsorve-se aos óxidos de Fe e Al da fração argila, impedindo ou dificultando a adsorção de P que, desta maneira, torna-se mais disponível em solução.

A aplicação de  $\text{CaSiO}_3$  em solos ácidos do Havai (EUA) cultivados com cana-de-açúcar, reduziu a quantidade de fertilizante fosfatado necessária para manter  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$  de P em solução. O decréscimo na adsorção de P variou de 9 a 47% e, a maior redução ocorreu em solos com maiores teores de caulinita e, a menor, no material mais intemperizado, rico em óxidos de Fe e Al. O efeito residual do  $\text{CaSiO}_3$  na diminuição da quantidade de fertilizante fosfatado foi mais acentuado em pH 5,5 (requerimento de  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de P) do que em pH 6,2 (requerimento de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de P), (HINGSTON et al., 1972; OBIHARA & RUSSEL, 1972).

CARVALHO (1999), com o objetivo de estudar essas interações (P-Si) nas camadas superficiais (0–20cm de profundidade), realizou incubações de amostras de Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado e de Cambissolo fase cerrado utilizando diferentes doses de silício em mudas de *Eucalyptus grandis*. Verificou que essa interação no Cambissolo mostrou ser possível otimizar o ganho em fósforo pelas plantas, quando o silício for aplicado no solo numa etapa posterior à adubação fosfatada.

Em pesquisas nos EUA, com amostras de um Latossolo do cerrado

brasileiro (pH 4,8) cultivado com arroz em casa de vegetação e incubadas com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaSiO}_3$  verificou-se redução na retenção de P e aumento na capacidade de troca de cátions (CTC). Após seis meses de incubação, constatou-se que nos tratamentos com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaSiO}_3$  houve redução de 18% e 24% na adsorção de P, respectivamente (SMYTH & SANCHEZ, 1980).

Em experimentos com arroz cultivado em Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo conduzidos em casa de vegetação, objetivando estudar a ação alcalinizante e a competição Si x P na eficiência do termofosfato magnésiano ( $\text{MgSiO}_3$ ), pôde-se concluir que o termofosfato foi superior ao superfosfato triplo, com e sem corretivo, quanto à produção de matéria seca e a quantidade de P acumulado na matéria seca da parte aérea das plantas. Este resultado foi atribuído à competição Si x P combinada à ação alcalinizante do termofosfato (BALDEON, 1995).

Quando o  $\text{CaSiO}_3$  é aplicado ao solo numa etapa posterior à fosfatagem em quantidade suficientemente elevada para superar a energia de ligação do P às superfícies oxidicas, o  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  pode deslocar o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  previamente adsorvido (troca de ligantes), aumentando a sua disponibilidade em solução. Este caso pode ser considerado como uma outra forma de competição Si x P (OBIHARA & RUSSEL, 1972).

#### 2.4. Fatores que governam a disponibilidade de Si na solução do solo

MCKEAGUE & CLINE (1963) citam que os fatores de solo que influenciam a concentração do Si na solução são a composição mineralógica, a ciclagem, a textura, o pH e a presença de íons em solução. Existem evidências de que a concentração do ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) na solução do solo é controlada por uma reação de adsorção, porém o mecanismo para esta retenção do  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  é pouco conhecido.

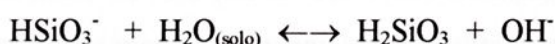
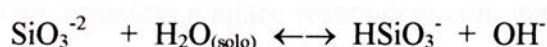
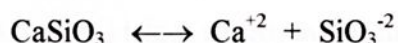
De acordo com MCKEAGUE & CLINE (1963) na solução do solo, o  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  comporta-se como um ácido muito fraco, de forma que, em pH 7,0 apenas 0,2% se ioniza na forma carregada negativamente ( $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ), sendo que o grau de ionização aumenta com a elevação do pH. Em valor de pH acima de 8,5, a espécie química  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  contribui significativamente para o aumento de Si total na solução. A solubilidade do Si em água não é afetada na faixa de pH de 2 a 9.

Na faixa normal de pH dos solos, o ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) é a



principal espécie química de silicato em solução. Em altas concentrações, ao redor de  $28 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si na solução, o monômero ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) polimeriza-se para formar precipitados de sílica amorfa. JONES & HANDRECK (1963) reportaram que a concentração de ácido monossilícico na solução do solo diminui de 33 para  $11 \text{ mg dm}^{-3}$  com o aumento do pH de 5,4 para 7,2.

Segundo ALCARDE (1992) a ação neutralizante do silicato pode ser explicada de acordo com as seguintes reações:



Isto é, a hidrólise do ânion silicato promove uma liberação de hidroxilas, conforme mostram as equações acima, promovendo a elevação do pH. Aumenta também o fenômeno da adsorção do Si ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) com a elevação do pH, uma vez que este fica carregado negativamente devido a ionização do ácido, tornando-se mais suscetível às forças de adsorção do solo.

Em geral, a concentração de Si na solução diminui com a elevação do pH. Contudo, a ionização aumenta o fenômeno da adsorção pelas partículas de solo (ALCARDE, 1992). JONES & HANDRECK (1963) indicaram que os níveis de Si na solução do solo com o mesmo pH podem ser influenciados pela quantidade, tipo e cristalinidade dos sesquióxidos livres. Embora o Si seja adsorvido às superfícies de vários tipos de substâncias inorgânicas em solos, acredita-se que os óxidos de Fe e Al são os principais responsáveis por esta reação. A capacidade de adsorção dos óxidos de Al diminui com o aumento do grau de cristalinidade.

EPSTEIN (1994) aponta que a concentração de  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  na solução do solo pode variar de 0,1 a  $0,6 \text{ mmol L}^{-1}$ , sendo que o equilíbrio químico do Si no solo depende principalmente do pH.

## 2.5 - Silício na planta

O silício é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico -  $H_4SiO_4$  (JONES & HANDREK, 1967).

Como se sabe, a produção vegetal é dependente do suprimento adequado de nutrientes, entretanto, o silício não é considerado participante do grupo de elementos minerais essenciais para o desenvolvimento de plantas cultivadas. Porém as principais gramíneas (arroz, cana de açúcar, milho, trigo, sorgo, aveia, milho e forrageiras) e muitas não-gramíneas como feijão, tomate, brássicas e alface respondem com maior produtividade ao aumento da disponibilidade de silício no solo (ELAWAD JR & GREEN, 1979).

O sorgo apresenta inúmeras vantagens como planta teste, no estudo da interação Si-P. O seu crescimento é rápido, com amplo sistema radicular, e relativamente tolerante à salinidade do solo e ao déficit hídrico. Absorve P e Si em alta taxa, em semelhança ao milho.

GALVEZ et al. (1987) relatam que assim como para as gramíneas em geral, a absorção do Si pelo sorgo é ativa. TAKAHASHI (1995) também menciona que o mecanismo de absorção de silício pelas plantas é preferencialmente ativo, uma vez que ao provocar a supressão temporária de absorção de água por plantas de arroz, observou que a absorção de silício não foi reduzida. Da mesma forma, MALAVOLTA (1980) cita que o processo de absorção de silício pelas plantas tende a ser ativo e é sensível à temperatura e inibidores metabólicos. Por sua vez, KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1985) afirmam que a absorção do silício é passiva na maioria das gramíneas e que no caso do arroz especificamente, a absorção é preferencialmente ativa.

KORNDÖRFER et al. (2000) citam que o Si no interior das plantas é considerado pouco móvel, sendo que o seu transporte, da raiz até a parte aérea se dá através do xilema e depende da taxa de transpiração, como para todos os nutrientes.

MARSCHNER (1995) destaca que o Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal através de várias ações indiretas, deixando as folhas mais eretas, com diminuição do auto-sombreamento, redução do acamamento, maior rigidez estrutural dos tecidos e proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Fe, Mn, Al e Na. As plantas também demonstraram incrementos significativos da taxa fotossintética devido às folhas mais eretas, que melhoram a arquitetura foliar, pois afetam a interceptação

de luz em populações densas de plantas, e de outros processos no metabolismo vegetal, tendo como resultado final um aumento e maior qualidade na produção. KORNDÖRFER et al. (1999a) também observaram que o aumento na absorção de Si poderia produzir plantas mais eretas, com maior capacidade fotossintética e, como consequência, maior rendimento de grãos.

De acordo com CLARK et al. (1990), na Colômbia, foi observado que a concentração relativamente alta de Si nas folhas de milho e sorgo pode ter contribuído para as altas produtividades obtidas, pois quanto maior a produtividade, maior foi o nível de silício encontrado nas folhas.

## 2.6 - Comportamento da escória silicatada como corretivo agrícola

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo da acidez é o calcário. Todavia, a utilização de alguns resíduos siderúrgicos para a mesma finalidade tem-se mostrado como alternativa viável para o aproveitamento de parte desses subprodutos, destacando-se as escórias (AMARAL et al., 1994).

As escórias são subprodutos das usinas siderúrgicas. No processo siderúrgico o calcário, o minério de ferro e o coque ou carvão são aquecidos em torno de 1900°C, promovendo a redução do ferro; os silicatos e demais impurezas combinam-se com Ca e Mg do calcário, dando origem à escória (FIRME, 1986). De acordo com PRADO (2000) os dois principais produtos da indústria siderúrgica brasileira referem-se ao ferro-gusa e ao aço bruto, que originam diversos produtos siderúrgicos (lâminas, tiras a quente e a frio, bobinas e chapas a quente e a frio e seus derivados), cuja produção está estritamente ligada à produção dos diferentes tipos de escórias silicatadas. Ressalta-se ainda que, para cada tonelada de ferro-gusa produzido, obtém-se 0,75 t de escória de alto forno e, segundo CANTINI & SOUZA (1989), para cada tonelada de aço líquido produzido obtém-se 0,64 t de escória de aciária básica ou ácida.

FIRME (1986) relatou que as escórias, à saída do forno, podem ser deixadas resfriar ao ar ou podem ser resfriadas bruscamente por meio de jatos de água, método denominado "quenching". Deste processo resultam escórias mais friáveis, menos densas, o que facilita sua moagem. Além disso GUPTA (1971), citado pelo mesmo autor, relata que o "quenching" evita a recristalização dos constituintes, promovendo maior

solubilidade dos compostos quando adicionados ao solo. O "quenching", porém, por ser mais poluente do que o outro processo de resfriamento, tem sido aplicado em quantidades cada vez menores de escória, conforme BARBER (1984), também citado pelo mesmo autor.

Cerca de 95% da escória é formada pelos óxidos de silício, alumínio, cálcio e magnésio. O enxofre presente na escória é originário do coque. O óxido de manganês vem do minério de ferro, das escórias de retorno e de outros fundentes e o óxido ferroso é proveniente da redução incompleta do ferro (GUIMARÃES, 1960).

Na escória são bastante encontrados Ca, Mg e Si, enquanto que outros elementos como Fe, Mn, Cu, Co, Mo, Zn e B são encontrados em baixos teores, dependendo da fusão e da basicidade da escória (PIAU, 1991).

Os componentes neutralizantes das escórias são os silicatos de cálcio e magnésio, comportando-se semelhantemente aos calcários, podendo justificar seu uso como corretivo da acidez do solo.

Na literatura internacional há vários relatos sobre a avaliação da escória como corretivo de acidez. Porém, na literatura nacional os estudos são escassos, sendo que as pesquisas existentes com corretivos estão polarizadas para o calcário.

De acordo com FROES ABREU citado por MALAVOLTA (1981), os materiais empregados como corretivo de acidez são basicamente os óxidos, hidróxidos, escórias e carbonatos de Ca e Mg. O mecanismo de correção da acidez quando se usa escória, resulta na formação do ácido metassilícico ( $H_4SiO_4$ ), que se dissocia menos que os  $H^+$  adsorvidos ao complexo de troca e, por isso, o pH do solo se eleva.

PEREIRA (1978) estudou o efeito corretivo de uma escória da USIMINAS-MG, em comparação com sete calcários de diferentes origens. Concluiu não haver diferenças estatísticas entre os corretivos quanto a correção do pH de amostras de dois latossolos (Lvd e Lvhd). Contudo, VELOSO et al. (1992), verificando o efeito de diferentes materiais (calcário calcinado e dolomítico, escória e gesso) no pH do solo, concluíram que o calcário calcinado foi o que provocou o maior aumento de pH, seguido do calcário dolomítico e da escória.

Segundo LOUZADA (1987), quando se aplica calcário e escória na mesma granulometria, as escórias são pouco menos eficientes na elevação do pH do solo, sendo essas pequenas diferenças de eficiência atribuídas ao valor neutralizante mais baixo da

escória.

Em um trabalho em casa de vegetação, nos Estados Unidos, CRANE (1930) comparou escória de alto forno com calcário. A escória teve uma eficiência igual a do calcário, quando os dois materiais apresentavam a mesma granulometria.

BARNETTE (1952) estudou o efeito do  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  e escória silicatada, sendo que este último corretivo apresentou um poder de redução da atividade hidrogeniônica do solo igual a do carbonato e do hidróxido, quando em doses equivalentes.

Vários autores utilizaram o silicato de cálcio (escória) como corretivo e obtiveram bons resultados (WUTKE & GARGANTINI, 1962; SUEHISA et al., 1963; GOMES et al., 1965; AYRES, 1966; CAMARGO, 1972; VALADARES et al., 1974; RIBEIRO et al., 1986; PIAU, 1991, OLIVEIRA, 1994, CARVALHO, 2000 e PRADO, 2000).

O composto de silício presente na fase líquida do solo numa faixa de pH de 4 a 9 é o monômero  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  (MCKEAGUE & CLINE, 1963 a, b). Sua retenção, comprovada por HOLT & KING (1955) através do  $\text{Si}^{31}$  (radioativo), ocorre por adsorção específica às superfícies dos óxidos de Fe, à semelhança do P (HINGSTON et al., 1972). Fósforo e silício competem entre si pelos mesmos sítios de adsorção nos colóides, de maneira que o segundo pode deslocar (dessorver) o primeiro, e vice-versa, da fase sólida para a fase líquida (OBIHARA & RUSSEL, 1972; OLIVEIRA, 1984; LEITE, 1997).

Foi constatado por SCARSETH (1965) que a aplicação de quantidades crescentes de silicato de sódio em solos ácidos aumentava o teor de fósforo na solução.

ROY et al. (1971) verificaram que a aplicação de escória de siderurgia (~20% de  $\text{CaSiO}_3$  - silicato de cálcio) em solos ácidos do Havá (EUA), cultivados com cana-de-açúcar, reduziu em até 47% a demanda de P, notadamente em ambientes caulíníticos.

Segundo SMYTH & SANCHES (1980), a calagem contribui para reduzir a capacidade de adsorção de fósforo pelos solos. Esses autores demonstraram que em solo caulínítico do cerrado brasileiro cultivado com arroz, o emprego de  $\text{CaSiO}_3$  foi cerca de 10% mais efetivo que o calcário no que se refere à dessorção de P.

PRADO & FERNANDES (1999) estudaram o efeito da escória de siderurgia, comparada ao calcário, no aumento de fósforo disponível em duas classes de solos ácidos, sob vegetação natural de Cerrado (Areia Quartzosa e Latossolo Vermelho-



Escuro) cultivado com cana-de-açúcar. Concluíram, para a Areia Quartzosa, que a escória foi superior em relação ao calcário na ordem de 27% no aumento de fósforo disponível (resina) do solo. Para o Latossolo Vermelho-Escuro a escória de siderurgia foi semelhante ao calcário no incremento do fósforo disponível, apenas com a metade da dose equivalente a  $\text{CaCO}_3$ .

De acordo com SHERMAN et al. (1964) e TAMINI & MATSUYAMA (1972), a escória silicatada apresenta ação corretiva semelhante a do calcário, porém com uma vantagem adicional, isto é, evitar o perigo do excesso de cal, que pode provocar a indisponibilidade dos micronutrientes. Quando se usa escória tal efeito é reduzido.

Por outro lado, FORTES (1993) estudou duas escórias de siderurgia de alto-forno de fabricação do ferro-gusa e calcário, em dois Latossolos Vermelho-Amarelo de diferentes texturas. Observou que apesar da escória ter corrigido a acidez do solo, a reação foi mais lenta que a do calcário, indicando que a aplicação da escória, baseado na determinação do Poder de Neutralização (PN), não foi eficaz. Em conformidade, PRADO & FERNANDES (2000) compararam a escória de siderurgia de alto forno e um calcário calcítico quanto a eficiência da correção da acidez do solo, em condições de vaso, chegando à mesma conclusão

Esta reação mais lenta da escória de siderurgia, imediatamente após sua incorporação ao solo, pode ser influenciada por diversos fatores, tais como, a presença de impurezas como alumínio, que reduzem sua solubilidade (ANDO et al., 1998). Isto pode ser explicado pela constituição química da escória, a qual apresenta parte de compostos de Ca e Mg ligados a alumino-silicatos (CRANE, 1930) ou pela formação de uma película de oxi-hidróxido de Fe e Al em torno das partículas de corretivo. Isto ocorre, provavelmente, no momento da hidrólise, em função da alcalinidade em torno desta partícula (GOMES et al., 1996). Este fato fica mais evidente nos materiais de escória de siderurgia em função da presença do Fe e Al em maior quantidade, quando comparado aos calcários.

Tabela 1 – Teores de caulinita (Ka), Goethita (Gt) e Hematita (Hm) determinados por difração na fração areia, dos solos estudados (MALTONI, 1994)

SOLO	HORIZONTE	%		
		Ka	Gt	Hm
S1	A	80,0	3,7	1,3
	B	81,0	5,1	1,9
S2	A	86,9	7,5	13,4
	B	66,4	7,7	17,1
S3	A	74,2	17,0	3,4
	B	72,6	8,7	9,5

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Local do experimento

O trabalho foi realizado em casa de vegetação pertencente ao Pomar da UNESP - Ilha Solteira -SP.

Os solos, nos quais o experimento foi conduzido, foram coletados na Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP - Ilha Solteira-SP, localizada no município de Selvíria-MS, e foram caracterizados como Latossolo Vermelho Distrófico típico, A moderado, textura argilo-arenosa (S1), Latossolo Vermelho Distrófico, A moderado, textura argilosa, (S2) e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, A moderado, textura argilosa (S3). Os três solos são essencialmente cauliniticos, apresentando alguma variação dos óxidos de ferro, goethita e hematita, caracterizados por MALTONI (1994), conforme Tabela 1. Esses solos foram estudados levando-se em consideração os teores de caulinita para o S1, de hematita para o S2 e de goethita para o S3. Os resultados da análise química dos solos, de acordo com a metodologia de RAIJ & QUAGGIO (1983), encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 – Teores de caulinita (Ka), Goethita (Gt) e Hematita (Hm), determinados por alocação, na fração argila, dos solos estudados (MALTONI, 1994).

SOLO	HORIZONTE	Ka	Gt	Hm
		-----%-----		
S1	A	<b>80,0</b>	3,7	8,8
	B	81,0	5,1	8,0
S2	A	66,9	7,5	<b>17,4</b>
	B	66,4	7,7	17,3
S3	A	74,2	<b>17,1</b>	3,4
	B	72,8	9,7	9,5

Tabela 2 – Análise química dos solos utilizados no experimento, na profundidade de 0-20 cm.

Solo	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	V	Si
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	Resina mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				%	mg dm <sup>-3</sup>	
S1	4,3	26	13	1,4	16	4	34	5	39	3,29
S2	4,2	36	4	1,9	14	7	52	7	30	3,57
S3	4,6	28	17	1,9	19	9	34	2	47	5,87

### 3.2 - Caracterização da escória de siderurgia

Na correção da acidez dos solos foi utilizado uma escória silicatada de siderurgia (aciária). A escória foi doada pela SiliFétil Ambiental Ltda., Belo Horizonte-MG. Os teores de Ca, Mg, K, P, S, Si e micronutrientes foram fornecidos pela referida empresa, conforme Tabela 3. A caracterização química e a reatividade (RE) foram obtidas no Laboratório de Fertilidade do Solo da ESALQ/USP e estão apresentadas na Tabela 4. Com base nesses valores, determinaram-se o poder de neutralização (PN) e o poder relativo de neutralização total (PRNT).

3.4 - Ressalta-se que a escória foi peneirada, com o objetivo de que a mesma apresentasse uma granulometria referente ao material que passou em peneira com abertura de malha de 0,3 mm (ABNT N° 50).

Tabela 3 – Resultado médio das análises químicas (teores totais) da escória silicatada de siderurgia fornecida pela Silifertil Ambiental Ltda.

Elementos Químicos													
Macronutrientes					Benéfico	Micronutrientes							
Ca	Mg	K	P	S	Si	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Mo	Co	
-----g kg <sup>-1</sup> -----					-----mg kg <sup>-1</sup> -----								
400	90	9	10	9	420	700	16	29	300	150	100	70	

Tabela 4 – Caracterização química, reatividade, poder de neutralização e poder relativo de neutralização total da escória de aciária <sup>1</sup>.

Análise química		Reatividade	Poder de Neutralização	Poder Relativo de Neutralização Total
Ca	Mg	(RE)	(PN)	(PRNT)
-----g kg <sup>-1</sup> -----		-----%-----		
240,00	48,00	99,98	79,00	78,98

<sup>1</sup> KOICHE et al. (1989).

### 3.3 - Determinação do valor "X"

O valor "X" dos solos, definido como a quantidade de P requerida para ultrapassar o efeito de fixação deste nutriente pelo solo, foi estimado conforme WAUGH & FITTS (1966) modificado por FERREIRA et al. (1978) e encontram-se na Tabela 5.

### 3.4 - Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $3 \times 4 \times 2$ , com quatro repetições, totalizando 96 unidades experimentais (vasos com capacidade de  $4 \text{ dm}^3$ ).

Os fatores foram constituídos de três solos, quatro níveis de correção com escória (Testemunha= $V\%$  original,  $V_2=50\%$ ,  $V_3=70\%$  e  $V_4=90\%$ ) e dois níveis de fósforo ( $P_1$ = sem adição de P;  $P_2$ = adição de P equivalente a duas vezes o valor "X"), conforme Tabela 5.

A quantidade de corretivo aplicada (Tabela 6) foi calculada pelo método da elevação de saturação por bases, baseada na análise do solo e no poder de neutralização (PN) da escória (Tabela 4).

Tabela 5 - Quantidades de fósforo (ST) utilizada no experimento, referentes ao valor "X" de cada solo.

	Solo 1	Solo 2	Solo 3
Valor "X" (P)	14,00	44,00	23,00
Dose de $P_2O_5$ (2 x Valor "X")	64,10	201,50	105,40

Tabela 6 - Quantidade de escória silicatada utilizada no experimento, em função dos níveis de saturação por bases desejados.

	Quantidade de escória silicatada ( $\text{g dm}^{-3}$ de solo)			
	Testemunha	V% 50	V% 70	V% 90
Solo 1	0	0,399	1,100	1,802
Solo 2	0	0,921	1,869	2,818
Solo 3	0	0,130	0,939	1,748

### 3.5 - Instalação do experimento

#### 3.5.1 - Coleta e preparo dos solos

Os solos foram coletados na camada de 0 - 20 cm. O solo 1 foi coletado em uma área cultivada com milho no ano anterior; o solo 2 em uma área cultivada com eucalipto; e o solo 3 em uma área cultivada com soja no ano anterior. Os solos coletados foram secos ao ar, destorroados e passados em peneira de malha de 4mm.

#### 3.5.2 - Incubação dos solos com corretivo

No início do experimento, cada unidade experimental foi constituída por um volume de 5 dm<sup>3</sup>, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos. Após a aplicação da escória, de acordo com os tratamentos, foram incubadas por um período de 40 dias, com umidade mantida ao redor de 70 % da capacidade de retenção de água (CRA).

#### 3.5.3 - Incubação dos solos com fósforo

Após o período de incubação com a escória, o solo de cada unidade experimental foi seco ao ar e passado em peneira de malha de 4 mm. De cada unidade experimental, foram coletadas sub-amostras de 200 cm<sup>3</sup> de solo para análise química, perfazendo a partir desta fase, um volume de 4,8 dm<sup>3</sup> de solo. Em seguida, o fósforo (superfosfato triplo - 44% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) foi aplicado aos solos, em forma de pó, de acordo com os tratamentos. Os solos foram homogeneizados, retornados aos respectivos sacos plásticos e incubados por mais 40 dias, mantendo a umidade do solo ao redor 70% da CRA.

#### 3.5.4 - Adubação básica e semeadura

Concluída a incubação com fósforo, o solo referente a cada unidade experimental foi seco ao ar e novamente passado em peneira de malha de 4 mm. Outra amostra de 200 cm<sup>3</sup> de solo foi retirada para análise química. Em seguida, um volume 3,5 dm<sup>3</sup> de solo de cada unidade experimental foi transferido para vaso de cerâmica com capacidade de 4 dm<sup>3</sup>.

Foi realizada uma adubação básica, na qual cada vaso recebeu  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  de N (uréia),  $90 \text{ mg dm}^{-3}$  de K (KCl) e  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mg ( $\text{MgSO}_4$ ). Foi realizado um cultivo em cada solo, utilizando como planta indicadora o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) híbrido AG 6304, semeando-se vinte sementes por vaso.

### 3.5.5 - Tratos culturais

Uma semana após a germinação foi efetuado o desbaste, deixando-se dez plantas por vaso. Aos 12 e aos 23 dias após a semeadura foram efetuadas adubações de cobertura nas quais cada vaso recebeu,  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  de N e  $90 \text{ mg dm}^{-3}$  de K (12 dias após semeadura); e  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  de N (23 dias após semeadura). Aos 15 e 25 dias após a emergência foram efetuadas pulverizações com Deltamethrin na concentração de 0,03% (produto comercial), para controlar trips (*Trips ssp*) e lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

A colheita das plantas foi efetuada 35 dias após a emergência, cortando-se a parte aérea rente ao solo. As raízes foram separadas do solo, lavadas com água de torneira e levadas à estufa a  $65\text{-}70 \text{ }^\circ\text{C}$  até massa constante.

## 3.6 - Avaliações

### 3.6.1 - Solo

Os solos foram amostrados após o término de cada incubação e do cultivo. Foram avaliados o pH e os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, matéria orgânica e silício. O pH foi determinado em  $\text{CaCl}_2$  0,01 M e o fósforo, potássio, cálcio e magnésio, pelo método da resina trocadora de íons, saturada com bicarbonato de sódio 1 N a pH 8,5 e a matéria orgânica pelo método colorimétrico conforme RAIJ & QUAGGIO (1983).

Para a extração e determinação do silício foi utilizado o método do ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , proposto por KORNDÖRFER et al. (1999). Extraíu-se o Si com uma solução de ácido acético 0,5 M. Pesou-se 10 g de terra e agitou-se por 1 hora com 100 ml dessa solução. Deixou-se em repouso por uma noite (12h).

Para a determinação pipetou-se uma alíquota de 10 ml do extrato

(decantado). Colocou-se em copos plásticos com capacidade de 50 ml. Acrescentou-se 1 ml da solução sulfo-molibdica ( $H_4SiO_4$  - ác. orto-silícico, forma mais simples e solúvel de Si, reage com o molibdato desenvolvendo a cor amarela). Após 10 minutos acrescentou-se 2 ml da solução de ácido tartárico 20% (complexa o P da solução) e após 5 minutos adicionou-se 10 ml da solução de ácido ascórbico (a redução do Si transforma o complexo amarelo para a cor azul). Depois de 1 hora fez-se a leitura em Espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm.

Para o preparo dos padrões pipetou-se alíquotas de 0; 1; 2; 4; 6; 8 e 10 ml da solução padrão de Si de 50 ppm, colocou-se em balões de 100 ml e completou-se o volume do balão com o extrator obtendo-se as seguintes concentrações: 0; 0,5; 1; 2; 3; 4 e 5 ppm. Para a determinação seguiu-se o mesmo procedimento das amostras.

### 3.6.2 - Planta

Para determinação dos nutrientes foliares foi utilizada a parte aérea das plantas de sorgo. Estas foram lavadas, colocadas em sacos de papel e levadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura variando de 65-70 °C até atingir massa constante. Depois de secas, foram pesadas, moídas e submetidas à análise para determinação dos teores de nutrientes, segundo métodos citados por MALAVOLTA et al. (1989).

O teor de silício no material vegetal foi determinado conforme BATAGLIA et al. (1983).

Foram realizados o rendimento da matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas.

### 3.6.3 – Acúmulo de fósforo e silício na parte aérea das plantas

O acúmulo de fósforo e silício na parte aérea das plantas foi determinado pelo produto entre a concentração dos referidos elementos e o rendimento de matéria seca, determinados conforme indicado no item anterior.

#### 4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística do experimento foi realizada utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições em esquema fatorial 3x4x2 de acordo com o esquema de variância apresentado na Tabela 7.

A comparação dos tratamentos e das médias dentro dos fatores, solo e fósforo, foram feitas pelo teste de Tukey ( $P < 0,01$  e  $P < 0,05$ ). Para detectar possível tendência de efeito dos níveis de correção do corretivo utilizado, decidiu-se fazer análise de variância considerando a regressão até o segundo grau.

Tabela 7 - Esquema da análise de variância com desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos

Causas de variação	GL
Solos (S)	2
Níveis de correção (V)	3
Níveis de fósforo (P)	1
SxV	6
SxP	2
VxP	3
SxVxP	6
Resíduo	72
Total	95

Tabela 8 - Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes a pH, saturação por bases, fósforo e silício após a incubação com escória de aciaria.

Causas de Variação	Valores F				
	FL	pH	Saturação por bases	Fósforo	Silício
Solos (S)	2	7,60 **	5,84 **	122,86 **	27,36 **
Níveis de correção (NC)	3	124,13 **	121,74 **	4,12 **	271,74 **
Fósforo (P)	1	1,08 *	0,23 **	4,21 *	0,24 **
S x NC	6	1,25 *	4,40 **	6,24 **	1,60 **
S x P	2	1,08 *	0,74 **	0,10 **	0,10 **
NC x P	3	2,06 *	0,88 **	1,11 **	0,10 **
Medias gerais		4,67	41,16	11,26	7,27

### 5.1 Efeito dos tratamentos nos atributos químicos dos solos

Nas tabelas 8, 9 e 10 são apresentadas as análises de variância dos dados referentes as variáveis químicas dos solos, obtidas aos 40 dias de incubação com escória de aciaria, aos 40 dias de incubação com fósforo e após o cultivo, respectivamente.

Nota-se que houve efeito significativo para os solos e níveis de correção em todas as variáveis avaliadas ( $P < 0,01$ ), e para interação corretivo x fósforo, nas variáveis fósforo e silício ( $P < 0,05$ ) (Tabela 8).

Pode-se verificar, na Tabela 9, que houve efeito significativo para os solos e níveis de correção para todas as variáveis avaliadas ( $P < 0,01$ ). Para os níveis de fósforo o efeito significativo se deu apenas para as variáveis fósforo e pH ( $P < 0,01$ ), o mesmo ocorrendo para sua interação com os solos. Observa-se, ainda, que para a interação níveis de corretivo x fósforo, houve efeito significativo apenas para a variável silício.

Através da Tabela 10 pode-se constatar um efeito significativo para os níveis de correção em todas as variáveis avaliadas ( $P < 0,01$ ), e para os solos, a não significância apenas para a variável pH. No entanto, a interação entre eles foi significativa, para as variáveis pH e silício. A interação entre solos e níveis de fósforo apresentou significância para todas as variáveis, exceto para silício.

Tabela 8 - Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à pH, saturação por bases, fósforo e silício após a incubação com escória de aciária.

Causas da Variação	GL	Valor F			
		pH	Saturação por bases	Fósforo	Silício
Solo (S)	2	7,60 ** <sup>1</sup>	5,84 **	1232,38 **	22,30 **
Níveis de correção (NC)	3	126,13 **	124,75 **	54,02 **	277,28 **
Fósforo (P)	1	1,06 ns	0,33 ns	4,92 *	0,64 ns
S x NC	6	2,25 *	4,42 **	6,04 **	3,85 **
S x P	2	1,08 ns	0,74 ns	0,10 ns	0,10 ns
NC x P	3	2,06 ns	0,88 ns	3,43 *	5,35 **
S x NC x P	6	0,35 ns	1,05 ns	1,51 ns	1,35 ns
Resíduo	72				
Média geral		4,82	51,38	13,76	7,27
C.V. (%)		2,47	6,87	7,02	12,46

<sup>1</sup> \*\*: \*, ns: significativo (P<0,01); significativo (P<0,05) e não significativo (P>0,05), respectivamente pelo Teste F.

Tabela 9 - Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à pH, saturação por bases, fósforo e silício após a incubação com fósforo.

Causas da Variação	GL	Valor F			
		pH	Saturação por bases	Fósforo	Silício
Solo (S)	2	94,06 ** <sup>1</sup>	54,70 **	94,47 **	46,37 **
Níveis de correção (NC)	3	455,20 **	56,47 **	28,16 **	139,81 **
Fósforo (P)	1	10,10 **	3,01 ns	2775,05 **	2,41 ns
S x NC	6	6,63 **	8,76 **	4,70 **	4,03 **
S x P	2	5,56 **	0,75 ns	212,43 **	0,51 ns
NC x P	3	0,99 ns	0,53 ns	2,09 ns	3,18 *
S x NC x P	6	0,95 ns	2,33 *	2,52 *	0,81 ns
Resíduo	72				
Média geral		4,84	48,73	20,47	7,21
C.V. (%)		1,39	8,22	8,79	18,64

<sup>1</sup> \*\*: \*, ns: significativo (P<0,01); significativo (P<0,05) e não significativo (P>0,05), respectivamente pelo Teste F.

Tabela 10 - Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à pH, saturação por bases, fósforo e silício após o cultivo.

Causas da Variação	GL	Valor F			
		pH	Saturação por bases	Fósforo	Silício
Solo (S)	2	2,78 <sup>ns1</sup>	5,02 **	13,08 **	99,68 **
Níveis de correção (NC)	3	249,47 **	80,38 **	4,08 **	525,29 **
Fósforo (P)	1	100,92 **	1,86 <sup>ns</sup>	611,33 **	0,37 <sup>ns</sup>
S x NC	6	3,71 **	1,42 <sup>ns</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	6,41 **
S x P	2	21,09 **	10,01 **	22,67 **	0,88 <sup>ns</sup>
NC x P	3	0,14 <sup>ns</sup>	3,77 *	0,82 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>
S x NC x P	6	2,94 *	0,58 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>	2,19 <sup>ns</sup>
Resíduo	72				
Média geral		4,74	48,75	14,35	7,54
C.V. (%)		1,74	7,68	17,60	9,49

<sup>1</sup> \*\*: \*; ns: significativo (P<0,01); significativo (P<0,05) e não significativo (P>0,05), respectivamente pelo Teste F.

### 5.1.1. Correção da acidez

Pela Tabela 11 observa-se que a escória de aciária, de um modo geral, elevou o pH dos três solos em função dos níveis de correção. Este resultado também foi observado por CARVALHO (2000), que relata que quanto maior a dose de escória utilizada, maior será o aumento do índice pH, como também por PRADO (2000). Observa-se ainda, que entre os solos, o S1 foi o que apresentou o maior pH nas três épocas de avaliação (5,25; 5,25; e 5,18) para o V%=90, apresentando diferença significativa em relação ao S2 aos 40 dias de incubação com corretivo e com fósforo, e para S2 e S3 após o cultivo.

Na Tabela 12, após a incubação com fósforo, embora os resultados tenham sido não significativos, observa-se de modo geral, um aumento de pH, sendo que o maior resultado foi para o S3. O mesmo pode ser observado após o cultivo, em relação aos níveis de fósforo, no entanto em relação aos solos, os maiores valores foram para o S1 nos tratamentos sem aplicação de fósforo, e para o S2 nos tratamentos com aplicação de fósforo, embora estes não tenham diferido significativamente do S3.

Através da análise para os níveis de saturação por bases dentro de solos (Tabela 13), observa-se que não houve ajuste para os valores de pH aos 40 dias de

incubação com corretivo. Para as doses de escória utilizadas de acordo com os níveis de saturação por bases, obteve-se ajuste linear para os valores de pH no S1 e S3, e quadrático no S2 após a incubação com fósforo. Após o cultivo, o modelo ajustado para o S1 e S2, foi o quadrático e para o S3 o linear.

As doses de escória utilizadas em função dos níveis de saturação por bases que ajustaram-se ao modelo linear, indicaram que o pH foi aumentando conforme acrescentaram-se maiores quantidades de escória, o que já era esperado, pois para tal elevação em solos ácidos, é necessário adicionar base (OH<sup>-</sup>) em quantidade suficiente para neutralizar todos os H dos ácidos presentes que são liberados à solução do solo até o valor de pH desejado (VOLKWEISS, 1989, ALCARDE, 1992)

Tabela 11 - Valores médios de pH nos solos em função dos níveis de saturação por bases.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
Aos 40 dias de incubação com corretivo				
S1	4,51 b	4,64 ab	4,91 a	5,25 a
S2	4,56 ab	4,56 b	4,86 a	5,06 b
S3	4,69 a	4,71 a	4,88 a	5,24 a
Aos 40 dias de incubação com fósforo				
S1	4,46 b	4,60 b	4,96 b	5,25 a
S2	4,50 b	4,51 c	4,89 b	5,05 b
S3	4,73 a	4,80 a	5,06 a	5,28 a
Após o cultivo				
S1	4,48 a	4,54 a	4,81 a	5,18 a
S2	4,50 a	4,51 a	4,84 a	5,01 b
S3	4,56 a	4,59 a	4,86 a	5,04 b

Obs.: Médias seguidas por letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 12 - Valores médios de pH nos solos em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.

Solos	Níveis de saturação por bases							
	Testemunha		50		70		90	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
-----pH-----								
Aos 40 dias de incubação com fósforo								
S1	4,45	4,48	4,58	4,63	5,00	4,93	5,28	5,23
S2	4,43	4,58	4,48	4,55	4,85	4,93	5,00	5,10
S3	4,70	4,75	4,80	4,80	5,05	5,08	5,23	5,33
Após o cultivo								
S1	4,45 aA	4,50 bA	4,50 abA	4,58 aA	4,75 abB	4,88 bA	5,18 aA	5,18 aA
S2	4,38 aB	4,63 abA	4,38 bB	4,65 aA	4,63 bB	5,05 aA	4,85 bB	5,18 aA
S3	4,48 aB	4,65 aA	4,53 aB	4,65 aA	4,88 aA	4,85 bA	4,93 bB	5,15 aA

Obs.: Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 13 - Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para pH.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
Aos 40 dias de incubação com corretivo				
S1	-	-	-	-
S2	-	-	-	-
S3	-	-	-	-
Aos 40 dias de incubação com fósforo				
S1	4,45	4,63	4,94	5,26 <sup>1</sup>
S2	4,47	4,60	4,80	5,08 <sup>2</sup>
S3	4,75	4,79	5,04	5,29 <sup>3</sup>
Após o cultivo				
S1	4,47	4,55	4,80	5,18 <sup>4</sup>
S2	4,48	4,58	4,77	5,04 <sup>5</sup>
S3	4,57	4,60	5,83	5,05 <sup>6</sup>

$$^1y=3,8345 + 0,0158x$$

$$R^2=0,99 \quad ^4y=4,4750 - 0,0063x + 0,0002x^2 \quad R^2=0,99$$

$$^2y=4,4206 - 0,0011x + 0,0001x^2$$

$$R^2=0,93 \quad ^5y=4,4717 - 0,0029x + 0,0001x^2 \quad R^2=0,94$$

$$^3y=4,1585 + 0,0125x$$

$$R^2=0,99 \quad ^6y=4,0324 + 0,0114x \quad R^2=0,99$$

A saturação por bases (Tabela 14) nos três solos, aumentou de acordo com os níveis de correção aplicado nas três épocas de avaliação, embora não tenham atingido os níveis desejados. Observa-se também, que houve diferença significativa entre os níveis de saturação por bases entre os solos, sendo que o maior valor foi para o S3, porém na avaliação após a incubação com escória de aciária o S3 e S1 não diferiram significativamente entre si.

Nos tratamentos onde houve aplicação de fósforo, após a incubação (Tabela 15), de modo geral, os solos apresentaram maiores valores de saturação por bases quando comparados aos tratamentos sem aplicação de fósforo, embora esses tratamentos não tenham apresentado diferença significativa entre si. Entre os solos, o S3 foi o que apresentou os maiores valores de saturação por bases, tanto nos tratamentos com fósforo como nos tratamentos sem fósforo, nas duas avaliações (após incubação com fósforo e após cultivo).

Na Tabela 16, através da análise de regressão para os níveis de saturação por bases dentro de solos para a saturação por bases avaliada, obteve-se comportamento linear para os três solos aos 40 dias de incubação com corretivo. Após o período de incubação com fósforo o S1 apresentou ajuste linear enquanto que o S2 e S3, apresentaram ajuste quadrático. Após o cultivo, não obteve-se ajuste ao modelo testado para a saturação por bases analisada nos três solos.

Observa-se ainda, que as doses de corretivo prevista pelo método de saturação por bases não foram suficientes para elevar o V% ao nível pretendido (Tabela 16). Sendo que os valores de V% obtidos foram de 46,21; 54,34; e 62,46 % para S1, 47,09; 52,85; e 58,61% para S2 e 47,86; 55,03; e 62,21% para S3, após a incubação com a escória de aciária, e 42,09; 50,21; e 58,32% para S1, 39,58; 44,42; e 54,32% para S2 e 52,98; 51,98; e 59,55% para S3 após incubação com fósforo e o esperado era 50; 70; e 90%. TESCARO (1998) sinaliza que a ineficiência de elevar o V% para valores relativamente altos pode ser pelo alto potencial de cargas dependentes de pH, comum em solos tropicais, as altas doses de corretivo que afetam a reação de equilíbrio da solubilização do corretivo e ainda ocorre a formação de novos minerais no solo em formas de hidróxido pouco solúvel.

Tabela 14 - Valores médios de saturação por bases nos solos em função dos níveis de saturação por bases.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
Aos 40 dias de incubação com corretivo				
S1	42,63 b	45,88 ab	52,75 a	63,50 a
S2	43,38 ab	42,00 b	56,88 a	57,63 b
S3	47,13 a	48,00 a	54,00 a	62,75 a
Aos 40 dias de incubação com fósforo				
S1	37,00 b	42,25 b	51,50 a	57,50 ab
S2	40,25 b	38,25 b	45,75 b	53,88 b
S3	55,88 a	50,50 a	52,63 a	59,38 a
Após o cultivo				
S1	42,50	44,00	48,13	58,00
S2	42,38	40,63	50,00	57,62
S3	45,63	45,25	53,38	57,50

Obs.: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 15 - Valores médios de saturação por bases nos solos em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.

Solos	Níveis de saturação por bases							
	Testemunha		50		70		90	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
-----V%-----								
Aos 40 dias de incubação com fósforo								
S1	36,75 bA	37,25 cA	40,00 bA	44,50 abA	49,25 aA	53,75 aA	58,75 aA	56,25 aA
S2	36,25 bB	44,25 bA	37,75 bA	38,75 bA	47,00 aA	44,50 bA	52,25 aA	55,50 aA
S3	55,50 aA	56,25 aA	52,75 aA	48,25 aA	52,25 aA	53,00 aA	57,75 aA	61,00 aA
Após o cultivo								
S1	41,50	43,50	46,75	41,25	50,75	45,50	58,50	57,50
S2	37,50	47,25	40,00	41,25	46,25	53,75	55,50	59,75
S3	44,75	46,50	47,00	43,50	54,00	52,75	56,25	58,75

Obs.: Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 16 - Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para saturação por bases.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
Aos 40 dias de incubação com corretivo				
S1	41,74	46,21	54,34	62,46 <sup>7</sup>
S2	41,33	47,09	52,85	58,61 <sup>8</sup>
S3	46,78	47,86	55,03	62,21 <sup>9</sup>
Aos 40 dias de incubação com fósforo				
S1	37,63	42,09	50,21	58,32 <sup>10</sup>
S2	39,81	39,58	44,42	54,32 <sup>11</sup>
S3	53,87	52,98	51,98	59,55 <sup>12</sup>
Após o cultivo				
S1	-	-	-	-
S2	-	-	-	-
S3	-	-	-	-

$${}^7y=25,8930 + 0,4063x \quad R^2=0,98 \quad {}^{10}y=21,8089 + 0,4057x \quad R^2=0,99$$

$${}^8y=32,6812 + 0,2881x \quad R^2=0,78 \quad {}^{11}y=49,6359 - 0,5175x + 0,0063x^2 \quad R^2=0,97$$

$${}^9y=29,9152 + 0,3588x \quad R^2=0,99 \quad {}^{12}y=92,9835 - 1,3358x + 0,0107x^2 \quad R^2=0,76$$

### 5.1.2. Disponibilidade de fósforo e silício

Pela Tabela 17 nota-se que, para os três solos, ocorreu um aumento na disponibilidade de fósforo em função dos níveis de saturação por bases, após a incubação com a escória de aciária e após a incubação com fósforo. CARVALHO (1999) e PRADO & FERNANDES (1999) verificaram o mesmo efeito. Este aumento na disponibilidade de fósforo pode ter ocorrido, devido a competição entre o fosfato e o silicato pelos sítios de adsorção aos colóides, embora OLIVEIRA (1984) relate que o deslocamento do fosfato pelo silicato é muito pequeno. BALDEON (1995) comenta que o efeito do silicato no aumento do fósforo disponível ocorre em função do pH. Já OBIHARA & RUSSEL (1972) comentam que a presença de silicatos somente reduz a adsorção de fosfato em pH acima de 7,0, quando a adsorção de silicato é aumentada e a de fosfato diminuída, enquanto que a adsorção de silicato é reduzida pela presença de fosfato em toda variação de pH. Portanto considera-se que com a elevação do pH haja um aumento na disponibilidade de fósforo.

Tabela 17 - Valores médios de fósforo nos solos em função dos níveis de saturação por bases.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
-----P-resina mg dm <sup>-3</sup> -----				
Aos 40 dias de incubação com corretivo				
S1	13,88 b	13,58 b	15,00 b	18,00 b
S2	6,38 c	6,00 c	8,13 c	8,38 c
S3	17,50 a	19,00 a	18,63 a	20,88 a
Aos 40 dias de incubação com fósforo				
S1	16,50 b	17,13 b	18,75 b	19,63 b
S2	17,50 b	18,38 b	17,75 b	24,25 a
S3	22,50 a	24,63 a	22,63 a	26,00 a
Após o cultivo				
S1	12,13	14,88	12,75	14,00
S2	12,13	14,88	14,25	15,38
S3	15,86	16,38	14,63	18,00

Obs.: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Observa-se ainda na Tabela 17, que entre os solos, o S3 foi o que apresentou os maiores teores de fósforo. Uma explicação para este resultado seria o fato deste solo apresentar maior teor de goethita, que é um mineral de argila responsável por uma maior adsorção de fósforo, segundo BAHIA FILHO et al. (1983) e BIGHAM et al. (1978). Portanto, a maior disponibilidade de fósforo para o S3, pode ser devido à dessorção deste nutriente, que estaria adsorvido em maior quantidade em relação aos outros solos, pela ação da escória de aciária (silicato).

Em relação aos níveis de fósforo (Tabela 18) pode-se verificar maior disponibilidade deste nutriente para o S2, nos tratamentos onde foi aplicado fósforo, enquanto que para os tratamentos sem fósforo, a maior disponibilidade é verificada para o S3.

Através da análise de regressão para os níveis de saturação por bases dentro de solos (Tabela 19), observa-se que para o S1 o ajuste foi quadrático enquanto que para S2 e S3 o ajuste foi linear após a incubação com a escória de aciária, indicando que houve aumento na disponibilidade desse elemento com o aumento da quantidade de escória aplicada em função dos níveis de saturação por bases. Após a incubação com fósforo o

ajuste foi quadrático para S2 e linear para S1 e S3 mostrando a mesma tendência que na avaliação anterior para o nutriente em questão. Após o cultivo não houve ajuste ao modelo testado para os teores de fósforo analisado nos três solos. Como em solo ácidos, o fósforo inorgânico precipita com minerais secundários Fe/Al-P e/ou é adsorvido pelas superfícies de minerais de argila e óxidos de Fe e Al, o pH do solo apresenta imensa influência na quantidade de fósforo adsorvido e precipitado no solo. A adsorção de fósforo pelos óxidos de Fe e Al pode diminuir com o aumento de pH. Como o P encontra-se no solo predominantemente em formas sólidas inorgânicas e orgânicas, representadas por fosfatos de Fe e Al ou por fosfato adsorvido através de ligações covalentes ao Fe e Al das superfícies de oxi-hidróxidos e de argilas, o aumento de pH pela aplicação da escória silicatada, provavelmente aumentou a solubilidade deste nutriente, pois, de acordo com VOLKWEISS (1989) em qualquer dessas formas, o aumento no pH, aumenta a concentração de OH<sup>-</sup> na solução, promovendo o deslocamento dos íons fosfato para a solução e, aumentando por conseguinte, sua disponibilidade para as plantas. Além de elevar o pH, a correção da acidez do solo com silicatos, poderia disponibilizar o P pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução; pelo fato de o ânion silicato ser quimicamente adsorvido, haveria uma competição entre Si e P pelos mesmos sítios de adsorção (HINGSTON et al., 1972; OBIHARA & RUSSEL, 1972; VOLKWEISS & RAIJ, 1977, citados por CARVALHO, 1999).

Tabela 18 - Valores médios de fósforo nos solos em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo

Solos	Níveis de saturação por bases							
	Testemunha		50		70		90	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
-----P-resina mg dm <sup>-3</sup> -----								
Aos 40 dias de incubação com fósforo								
S1	10,50 bB	22,50 bA	11,25 bB	23,00 bA	13,00 aB	24,50 bA	13,75 bB	25,50 cA
S2	4,00 cB	31,00 aA	4,25 cB	32,50 aA	3,25 bB	32,25 aA	7,00 cB	41,50 aA
S3	13,75 aB	31,25 aA	16,75 aB	32,50 aA	14,25 aB	31,00 aA	17,75 aB	34,25 bA
Após o cultivo								
S1	7,75	16,50	8,00	21,75	9,00	16,50	10,00	18,00
S2	13,75	20,50	4,00	19,75	5,00	23,50	5,75	25,00
S3	10,00	21,75	11,00	21,75	10,25	19,00	11,25	24,75

Obs.: Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 19 - Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para fósforo.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
Aos 40 dias de incubação com corretivo				
S1	13,76	13,60	14,84	18,04 <sup>13</sup>
S2	6,00	6,81	7,63	8,44 <sup>14</sup>
S3	17,96	18,14	19,35	20,55 <sup>15</sup>
Aos 40 dias de incubação com fósforo				
S1	16,52	17,22	18,49	19,76 <sup>16</sup>
S2	17,93	17,08	19,04	23,82 <sup>17</sup>
S3	23,06	23,22	24,23	25,24 <sup>18</sup>
Após o cultivo				
S1	-	-	-	-
S2	-	-	-	-
S3	-	-	-	-

$$^{13}y=19,1299 - 0,2338x + 0,0025x^2 \quad R^2=0,99 \quad ^{16}y=14,0499 + 0,0635x \quad R^2=0,98$$

$$^{14}y=4,7813 + 0,0406x \quad R^2=0,76 \quad ^{17}y=24,4797 - 0,3238x + 0,0035x^2 \quad R^2=0,88$$

$$^{15}y=15,1345 + 0,0602x \quad R^2=0,73 \quad ^{18}y=20,6861 + 0,0506x \quad R^2=0,36$$

Com a aplicação da escória de aciária (Tabela 20), verifica-se para as três épocas de avaliação, que o S3 diferiu significativamente dos demais, apresentando maior teor de silício (8,07; 8,95 e 8,77), seguido do S2 e S1.

Embora os resultados da Tabela 21 sejam não significativos, pode-se observar que aos 40 dias de incubação com fósforo, ocorreu um aumento nos teores de silício em relação aos tratamentos com fósforo, quando comparado aos tratamentos sem fósforo. Porém na avaliação após o cultivo, houve uma tendência à diminuição na disponibilidade de silício em presença de fósforo. Isto também foi observado por LEITE (1997), que diz que as possíveis causas dessa redução é o deslocamento do Si adsorvido pelo P aplicado e, em decorrência disso, a precipitação do Si na forma de sílica amorfa.

Através da análise de regressão para os níveis de saturação por bases dentro de solos (Tabela 22) obteve-se ajuste linear decrescente para S1 S2 para os teores de silício após a incubação com corretivo e a incubação com fósforo e, para o S3 após o cultivo. Para o S3 após a incubação com corretivo e após a incubação com fósforo, o ajuste

foi quadrático, assim como para o S1 e S2 após o cultivo.

Tabela 20 - Valores médios de silício nos solos em função dos níveis de saturação por bases.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha		50	70
-----Si - mg dm <sup>-3</sup> -----				
Aos 40 dias de incubação com corretivo				
S1	3,61 b	4,64 b	7,57 a	10,42 b
S2	3,28 b	5,93 a	8,44 a	11,09 ab
S3	5,86 a	5,94 a	8,38 a	12,09 a
Aos 40 dias de incubação com fósforo				
S1	3,37 b	4,20 b	6,56 b	8,91 c
S2	3,53 b	5,33 ab	7,78 ab	11,03 b
S3	6,00 a	6,18 a	8,92 a	14,72 a
Após o cultivo				
S1	3,87 b	4,34 b	6,00 c	10,79 b
S2	4,20 b	5,79 a	7,62 b	12,72 a
S3	6,04 a	6,23 a	9,93 a	12,90 a

Obs.: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 21 - Valores médios de silício nos solos em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.

Solos	Níveis de saturação por bases							
	Testemunha		50		70		90	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
-----Si - mg dm <sup>-3</sup> -----								
Aos 40 dias de incubação com fósforo								
S1	3,37	3,37	4,14	4,25	6,51	6,61	8,87	8,95
S2	3,49	3,57	5,28	5,38	7,84	7,71	9,55	12,52
S3	6,06	5,94	6,13	6,23	9,30	8,54	13,43	16,00
Após o cultivo								
S1	4,02	3,72	4,50	4,18	6,10	5,91	11,03	10,55
S2	4,40	4,00	5,66	5,93	7,16	8,08	12,81	12,62
S3	6,40	5,69	6,59	5,88	10,15	9,71	12,17	13,63

Obs.: Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 22 - Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para silício.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
Aos 40 dias de incubação com corretivo				
S1	3,39	4,89	7,62	10,34 <sup>19</sup>
S2	3,29	5,89	8,48	11,07 <sup>20</sup>
S3	5,79	6,02	8,35	12,10 <sup>21</sup>
Aos 40 dias de incubação com fósforo				
S1	3,18	4,40	6,62	8,83 <sup>22</sup>
S2	3,17	5,67	8,16	10,66 <sup>23</sup>
S3	6,01	6,16	8,92	14,72 <sup>24</sup>
Após o cultivo				
S1	3,99	4,09	6,18	10,74 <sup>25</sup>
S2	4,35	5,34	8,07	12,56 <sup>26</sup>
S3	5,95	6,44	9,72	12,99 <sup>27</sup>

$$^{19}y = -1,9232 + 0,1363x$$

$$R^2=0,99$$

$$^{24}y = 12,5442 - 0,3174x + 0,0038x^2$$

$$R^2=1,00$$

$$^{20}y = -0,5982 + 0,1297x$$

$$R^2=0,99$$

$$^{25}y = 9,6801 - 0,2662x + 0,0031x^2$$

$$R^2=0,99$$

$$^{21}y = 6,3372 - 0,0943x + 0,0018x^2$$

$$R^2=0,99$$

$$^{26}y = 6,1587 - 0,1259x + 0,0022x^2$$

$$R^2=0,99$$

$$^{22}y = -1,1332 + 0,1107x$$

$$R^2=0,99$$

$$^{27}y = -1,7585 + 0,1639x$$

$$R^2=0,99$$

$$^{23}y = -0,5711 + 0,1248x$$

$$R^2=0,98$$

## 5.2. Efeito dos tratamentos na planta

As análises de variância para produção de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular são apresentados na Tabela 23. Observa-se que houve efeito significativo para os solos, níveis de fósforo e sua interação para a produção de matéria seca das plantas e das raízes ( $P < 0,01$ ). Os níveis de correção apresentaram significância apenas para matéria seca da planta e a interação solos e níveis de correção para a matéria seca das raízes ( $P < 0,05$ ).

Na tabela 24, são apresentadas as análises de variância para os teores de fósforo e silício acumulados nas plantas. Todos os fatores avaliados apresentaram significância para as duas variáveis estudadas, exceto o fator níveis de correção para silício acumulado.

Tabela 23 - Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à matéria seca das plantas e das raízes.

Causas da Variação	GL	Valor F	
		MS - Planta	MS - Raízes
Solo (S)	2	15,48 ** <sup>1</sup>	11,73 **
Níveis de correção (NC)	3	3,04 *	2,05 <sup>ns</sup>
Fósforo (P)	1	991,54 **	232,68 **
S x NC	6	2,15 <sup>ns</sup>	2,41 *
S x P	2	120,49 **	41,22 **
NC x P	3	1,90 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>
S x NC x P	6	1,39 <sup>ns</sup>	2,04 <sup>ns</sup>
Resíduo	72		
Média geral		9,40	2,80
C.V. (%)		16,83	32,88

<sup>1</sup> \*\*: \*, ns: significativo (P<0,01); significativo (P<0,05) e não significativo (P>0,05), respectivamente pelo Teste F.

Tabela 24 - Valores de F, graus de liberdade, médias gerais e coeficientes de variação das análises referentes à fósforo e silício acumulados nas plantas.

Causas da Variação	GL	Valor F	
		P - acumulado	Si - acumulado
Solo (S)	2	48,95 ** <sup>1</sup>	73,38 **
Níveis de correção (NC)	3	4,69 **	2,58 <sup>ns</sup>
Fósforo (P)	1	895,93 **	246,19 **
S x NC	6	5,37 **	6,16 **
S x P	2	238,67 **	67,41 **
NC x P	3	3,34 *	3,87 *
S x NC x P	6	5,15 **	5,94 **
Resíduo	72		
Média geral		117,60	148,57
C.V. (%)		17,72	24,27

<sup>1</sup> \*\*: \*, ns: significativo (P<0,01); significativo (P<0,05) e não significativo (P>0,05), respectivamente pelo Teste F.



### 5.2.1. Matéria seca da planta

O crescimento do sorgo cultivado durante 35 dias é representado pelas médias de produção de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular (Tabelas 25, 26, 27 e 28).

Embora os resultados sejam não significativos, avaliando os solos em função dos níveis de saturação, verifica-se (Tabela 25) que a maior produção de matéria seca ocorreu para o S2, apresentando em média 10,67 g vaso<sup>-1</sup>. Ao adicionar fósforo nos solos (Tabela 26), observa-se que houve um aumento na produção da matéria seca da parte aérea, sendo que o maior incremento também foi para o S2.

Os mesmos resultados podem ser observados para a produção da matéria seca do sistema radicular (Tabelas 27 e 28).

Tabela 25 - Valores médios de matéria seca da parte aérea em função dos níveis de saturação por bases.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
	-----MS - g vaso <sup>-1</sup> -----			
S1	8,24	8,08	9,73	9,19
S2	11,64	8,85	10,91	11,29
S3	8,64	8,87	9,08	8,31

Obs.: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 26 - Valores médios de matéria seca da parte aérea em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.

Solos	Níveis de saturação por bases							
	Testemunha		50		70		90	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
	-----MS - g vaso <sup>-1</sup> -----							
S1	4,74	11,74	5,06	11,09	6,05	13,40	6,56	11,83
S2	2,00	21,29	1,68	16,00	1,99	19,83	2,51	20,08
S3	4,96	12,31	5,10	12,64	5,81	12,36	5,35	11,27

Obs.: Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 27 - Valores médios de matéria seca das raízes em função dos níveis de saturação por bases.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
-----MS - g vaso <sup>-1</sup> -----				
S1	2,13 b	2,18 a	2,33 b	2,44 a
S2	3,85 a	2,30 a	3,85 a	3,53 a
S3	2,25 b	2,94 a	3,19 ab	2,62 a

Obs.: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 28 - Valores médios de matéria seca das raízes em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.

Solos	Níveis de saturação por bases							
	Testemunha		50		70		90	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
-----MS - g vaso <sup>-1</sup> -----								
S1	1,51	2,75	1,57	2,80	1,70	2,95	2,03	2,85
S2	0,64	7,06	0,58	4,03	0,94	6,77	1,00	6,06
S3	1,38	3,12	1,43	4,45	1,83	4,55	1,81	3,42

Obs.: Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

### 5.2.2. Fósforo e silício acumulados na planta

Os teores médios de fósforo acumulado pela parte aérea do sorgo para os solos em função dos níveis de saturação por bases estão contidos na Tabela 29. Observa-se que a partir do nível de correção, V70%, os solos diferiram entre si, sendo que os maiores teores de fósforo acumulado na parte aérea ocorreu para o S2.

Na Tabela 30, pode observar-se que através da análise da regressão para os níveis de saturação por bases dentro de solos para o fósforo acumulado na parte aérea das plantas o ajuste foi linear para o S1, quadrático para o S2 e S3, embora o S3 apresente ajuste não significativo.

Houve diferença significativa entre os níveis de fósforo (Tabela 31), indicando que o sorgo acumulou, acentuadamente, maior conteúdo de fósforo na parte

aérea ao adicionar-se fósforo. Observa-se ainda que os maiores incrementos ocorreram para o S2.

A relação entre os teores de fósforo acumulados na parte aérea da planta com os níveis de fósforo aplicado para as saturações estudadas (Tabela 32) apenas foi significativo no tratamento com aplicação de fósforo, apresentado um comportamento quadrático para S1 e S2, enquanto que para S3 o ajuste foi linear.

Tabela 29 - Valores médios de fósforo acumulado nas plantas em função dos níveis de saturação por bases.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
-----P-acumulado - mg vaso <sup>-1</sup> -----				
S1	144,91 a	115,85 a	124,32 b	105,44 b
S2	151,05 a	109,88 a	155,04 a	145,95 a
S3	84,68 b	103,57 a	93,09 c	77,41 c

Obs.: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 30 - Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para fósforo acumulado nas plantas.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
S1	136,37	129,87	118,05	106,23 <sup>28</sup>
S2	144,02	130,96	133,95	152,98 <sup>29</sup>
S3	92,26	94,19	95,54	76,76 <sup>30</sup>

$$^{28}y=159,4184 - 0,5909x \quad R^2=0,63$$

$$^{29}y=193,6853 - 2,2572x + 0,0201x^2 \quad R^2=0,23$$

$$^{30}y=2,8261 + 3,0848x - 0,0251x^2 \quad R^2=0,60 \text{ NS}$$

Tabela 31 - Valores médios de fósforo acumulado nas plantas em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo

Solos	Níveis de saturação por bases							
	Testemunha		50		70		90	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
	-----P-acumulado - mg vaso <sup>-1</sup> -----							
<b>S1</b>	97,18aB	192,64bA	88,03aB	143,67bA	95,53aB	153,12bA	93,47aA	117,42bA
<b>S2</b>	10,29cB	291,81aA	9,53bB	210,22aA	10,40bB	299,68aA	14,46cB	277,45aA
<b>S3</b>	53,80bB	115,55cA	54,92aB	152,22bA	66,64aB	119,54bA	53,22bB	101,60bA

Obs.: Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 32 - Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos e fósforo para fósforo acumulado nas plantas.

Solos		Níveis de saturação por bases			
		Testemunha	50	70	90
<b>S1</b>	P1	94,72	92,89	92,08	94,52 <sup>31</sup>
	P2	182,23	164,24	138,53	121,85 <sup>32</sup>
<b>S2</b>	P1	10,36	9,29	10,63	14,38 <sup>33</sup>
	P2	277,67	252,63	257,27	291,59 <sup>34</sup>
<b>S3</b>	P1	52,73	56,23	66,29	53,31 <sup>35</sup>
	P2	134,61	132,46	118,10	103,75 <sup>36</sup>

$$^{31}y=109,1543 - 0,5286x + 0,0041x^2 \quad R^2=0,10^{NS} \quad ^{34}y=370,8845 - 4,2201x + 0,0371x^2 \quad R^2=0,20$$

$$^{32}y=268,0399 - 2,6408x + 0,0113x^2 \quad R^2=0,74 \quad ^{35}y=-69,7424 + 3,9597x - 0,0288x^2 \quad R^2=0,98^{NS}$$

$$^{33}y=16,4860 - 0,2944x + 0,0030x^2 \quad R^2=0,99^{NS} \quad ^{36}y=168,3374 - 0,7176x \quad R^2=0,45$$

Os teores médios de silício acumulado na parte aérea do sorgo para os solos em função dos níveis de saturação por bases estão contidos na Tabela 33. Verifica-se que em média, o S3 acumulou maior teor de silício na parte aérea do sorgo diferindo do S1, significativamente.

Na Tabela 34, através da análise da regressão para os níveis de saturação por bases dentro de solos para o silício acumulado nas plantas, houve efeito linear para o S2 e quadrático negativo para o S3. Para o S1 além de o efeito quadrático ser negativo não apresentou significância.

Na Tabela 35, observa-se que houve diferença significativa, indicando que o sorgo acumulou acentuadamente, maior conteúdo de silício na parte aérea, nos tratamentos em que aplicou-se fósforo, ocorrendo maiores incrementos para S2.

Pela análise da regressão para os níveis de saturação por bases dentro de solos dentro de fósforo (Tabela 36), observa-se que o S2 apresentou ajuste linear apenas para o tratamento onde foi aplicado fósforo enquanto que o S3 apresentou ajuste quadrático decrescente para o tratamento sem fósforo e ajuste quadrático crescente onde foi aplicado fósforo.

Tabela 33 - Valores médios de silício acumulado nas plantas em função dos níveis de saturação por bases.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
-----Si acumulado - mg vaso <sup>-1</sup> -----				
S1	76,23 c	84,19 c	99,20 b	84,51 b
S2	158,79 b	153,87 b	183,62 a	195,46 a
S3	212,74 a	208,43 a	204,86 a	120,96 b

Obs.: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 34 - Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos para silício acumulado nas plantas.

Solos	Níveis de saturação por bases			
	Testemunha	50	70	90
S1	74,39	87,82	96,63	85,29 <sup>37</sup>
S2	151,97	165,95	179,92	193,90 <sup>38</sup>
S3	208,69	213,44	203,55	121,31 <sup>39</sup>

$$^{37}y = -22,3050 + 3,4612x - 0,0252x^2 \quad R^2 = 0,91 \text{ NS}$$

$$^{38}y = 131,0098 + 0,6988x \quad R^2 = 0,82$$

$$^{39}y = -78,3841 + 10,3587x - 0,0904x^2 \quad R^2 = 0,99$$

Tabela 35 - Valores médios de silício acumulado nas plantas em função dos níveis de saturação por bases e de fósforo.

Solos	Níveis de saturação por bases							
	Testemunha		50		70		90	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
-----Si acumulado - mg vaso <sup>-1</sup> -----								
<b>S1</b>	59,25 bA	93,22 bA	61,12 bA	107,25 bA	76,95 bA	121,46 bA	68,36 aA	100,65 bA
<b>S2</b>	39,27 bB	278,32 aA	50,53 bB	257,22 aA	60,09 bB	307,16 aA	72,25 aB	155,95 bA
<b>S3</b>	136,15 aB	289,34 aA	142,01 aB	274,85 aA	238,07 aA	171,66 bB	85,97 aB	318,67 aA

Obs.: Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

## 5- CONCLUSÕES

Tabela 36 - Médias e equações de regressão para os níveis de saturação por bases dentro do fator solos e fósforo para silício acumulado nas plantas.

Solos	Níveis de saturação por bases				
	Testemunha	50	70	90	
<b>S1</b>	P1	56,80	65,95	73,52	69,40 <sup>40</sup>
	P2	91,98	109,69	119,73	101,18 <sup>41</sup>
<b>S2</b>	P1	3 9,48	49,88	60,73	72,04 <sup>42</sup>
	P2	264,69	281,79	298,89	315,99 <sup>43</sup>
<b>S3</b>	P1	124,80	156,03	234,41	86,95 <sup>44</sup>
	P2	292,57	270,85	172,70	155,67 <sup>45</sup>

$$^{40}y = -4,1084 + 2,1315x - 0,0146x^2 \quad R^2 = 0,78 \text{ NS} \quad ^{43}y = 239,0401 + 0,8550x \quad R^2 = 0,63$$

$$^{41}y = -40,5015 + 4,7910x - 0,0357x^2 \quad R^2 = 0,98 \text{ NS} \quad ^{44}y = -1027,9110 + 37,7933x - 0,2823x^2 \quad R^2 = 0,97$$

$$^{42}y = 24,7329 + 0,4747x + 0,0006x^2 \quad R^2 = 0,99 \text{ NS} \quad ^{45}y = 871,1429 - 17,0758x + 0,1014x^2 \quad R^2 = 0,99$$

## 5 - CONCLUSÕES

ALCARDE, J.C. *Correção na acidez dos solos: características e interpretações técnicas*. São Paulo: INDA, 1978.

A escória de aciária corrigiu a acidez, e elevou a disponibilidade de fósforo, para os três solos estudados.

AMARAL, A. *O LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, com maior teor de goethita, foi o que apresentou maior disponibilidade de fósforo após a incubação com a escória*. 1978, 1984.

A escória de aciária atuou também no teor de silício no solo e na planta, sendo que o LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico foi o que apresentou os maiores teores de silício no solo, e o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, com maior teor de hematita, foi o que apresentou os maiores teores de silício e fósforo acumulados na parte aérea da planta.

AYRES, A.S. *Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low silicon soils*. Soil Science, Belmore, v. 101, p.209-217, 1966.

BAIBA FILHO, A.F.C. *et al. Relação entre absorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 7, p.231-238, 1983.

BALDEON, J.R.M. Efeito da ação acidificante e da competição entre silício e fósforo na eficiência do fransulfato magneziano em solos ácidos. *Phytochim. 1983*. 88p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BARNETT, R.M. Synthetic calcium silicate as source of agricultural lime. III. A comparison of the influence of synthetic calcium silicate with other forms of lime on the soil reaction. *Soil Science, Baltimore*, v. 73, p. 75-82, 1952.

BATALHA, O.T.R. et al. Métodos de análises químicas de plantas. Campinas: IAC, 1978. 351p.

## 6 - REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas.** São Paulo: ANDA, 1992. 62p. (Boletim técnico, 6).

AMARAL, A. S. et al. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, p.1351-1358, 1994.

ANDO, J.; OWA, N.; ASANO, M. Studies on structure, solubility, and agronomic response of industrial slag. Effects of aluminium on solubility, and agronomic response of slags. **Japanese Journal Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v.59, p.27-32, 1988.

AYRES, A.S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low silicon soils. **Soil Science**, Baltimore, v.101, p.216-227, 1966.

BAHIA FILHO, A.F.C. et al. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.221-226, 1983.



BALDEON, J.R.M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos**. Piracicaba, 1995. 88p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BARNETTE, R.M. Synthetic calcium silicate as source of agricultural lime: III a comparison of the influence of synthetic calcium silicate with other forms of lime on the soil reaction. **Soil Science**, Baltimore, v.73, p.75-82, 1952.

BATAGLIA, O.C.P, et al. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48 p. (IAC-Boletim técnico, 78).

BELLINGIERI, P.A. **Silício: relação solo-planta**. Jaboticabal, 1979. 22p.(Monografia de Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal apresentada a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Unesp, Campus de Jaboticabal).

BIGHAM, J.M. et al. Iron oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols: II Influence on color, surface area, and phosphate retention. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.42, p.825-830, 1978.

CAMARGO, A.P. et al. Efeito da calagem nas produções de cinco cultivos de milho, seguido de algodão e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, p.107-112, 1972.

CAMARGO, O.A.; RAIJ, B.V; GROHMANN, F. Influência de cátions trocáveis e pH na fixação do fósforo em solos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.28, n.6, p.679-681, 1976.

CANTINI, V.L.; SOUZA, L.F. Aplicações e mercado de rejeitos siderúrgicos da Companhia Siderúrgica Nacional. In SEMINÁRIO DE RECUPERAÇÃO DE REJEITOS DA INDÚSTRIA METALÚRGICA, 1, 1989, Volta Redonda. **Anais**. Volta Redonda: CORENE; ABM, 1989.p. 131-144.

CARVALHO, R. **Interações silício-fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro e Cambissolo cultivados com mudas de eucalipto.** Lavras, 1999. 89p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras.

CARVALHO, J.G. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício.** Botucatu, 2000.114p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Soil phosphorus fractions in some representative soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.9, p.109-119, 1958.

CORREA, G.F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do Planalto de Viçosa.** Viçosa, 1984. 87p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

CRANE, F.H.A. Comparison of some effects of blast furnace slag and of limestone on acid. **Soil Journal of the America Agronomy Society**, v.22, p.968-73; 1930.

DABIN, B. Méthode d' étude de 7<sup>a</sup> fixation du phosphore sur les sols tropicaux. **Coton et Fibres Tropicales**, Paris, v.25, n.3, p.289-310, 1970.

ELAWAD, S.H.; GREEN, J.R.V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Il Riso**, v.28, p.235-53, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: SNLCSO, 1979.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, v.91, n.1, p.11-17, 1994.



FASSBENDER, H. W. Fósforo. In: \_\_\_\_\_. **Química de suelos: com ênfases em suelos da América Latina**. Turrialba: Instituto Internacional de Ciências Agrícolas, 1978. p. 262-307.

Science, Oxford, v.21, n.2, p.173-192, 1972.

FASSBENDER, H.W.; MULLER, L.; BALERDI, F. Estudio en suelos de America Central II. Formas y su relación con las plantas. **Turrialba: revista interamericana ciencias agrarias**, San Jose, v.18, n.4, p.333-347, 1968.

FERREIRA, M.E.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Sugestão para cálculo das necessidades de adubação fosfatada para cultivos em vaso e de estabelecimento de níveis a serem estudados em ensaios de campo. **Científica**, v.6, n.3, p.387-394, 1978.

JONES, I.H.P., RANDRICK, K.A. Effect of iron and aluminum oxides on plant

FIRME, D.J. **Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia com fosfato natural**. Viçosa, 1986. 55 p. Tese ("Magister Scientiae"/Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

RANDRICK, K.A. Silica in soil, plant and animals. *Advances in*

FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, New York, v.19, p. 97-149, 1992.

315p, 1985.

FORTES, J.L.O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. Viçosa, 1993. 66 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

KORNDOERFER, G.H. et al. Aplicação de adubos e extratos de silício em solos

GALVEZ, L.; CLARK, R.B.; GOURLEY, L.M. et al. Silicon interactions with manganese and aluminum toxicity in sorghum. **Journal Plant Nutrition**, New York, v.10, n.9, p.1139-1147, 1987.

KORNDOERFER, G.H., ARANTES, V.A., CORRÊA, G.P., SNEYDER, G.H. Efeito de

GOMES, A.G.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Comportamento de tipos de escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v.24, p.173-179, 1965.

KORNDOERFER, G.H., COLANINNO, C.A., LEONE, P.L.C. Tercelomônio como fonte de

GOMES, M.A.F. et al. Influência de ferro e alumínio amorfos do solo na reatividade de 4 corretivos de acidez. **Ceres**, Viçosa, v.43, n. 248, p.444-453, 1996.

HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.23, n.2, p.177-192, 1972.

HOLT, P.F.; KING, D.T. The chemistry of silica surfaces, **Journal of Chemical Society**. v.4, p.773-779, 1955.

JACKSON, M.L.; SHERMAN, G.D. Soil chemical analysis. **Advances in Agronomy**, New York, v.5, p. 219-225, 1963.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Effect of iron and aluminum oxides on silica in solution in soils. **Nature**, London, v.18, p.852-853, 1963.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soil, plants and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.107-49, 1967.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. CRC Press, 315p. 1985.

KOCHE, A. et al. Análise de corretivos agrícolas. **ANDA**. 30p. 1989.

KORNDÖRFER, G.H. et al. Avaliação de métodos e extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.101-116, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.635-41, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C.A.; LEONE, P.L.C. Termofosfato como fonte de silício para a cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.19, n.1, p.34-36, 2000.

KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: Uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, São Paulo, n.70, p.1-3, 1995.

LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. Dessorção do fosfato adsorvido em latossolos sob vegetação de cerrado II. Reversibilidade da isoterma de adsorção de fosfato em relação ao pH da solução de equilíbrio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.8, p.89-92, 1973.

LEITE, P.C. **Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. Viçosa, 1997. 87 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: J. Wiley, 1979. p.50-77

LOUZADA, P.T.C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. Viçosa, 1987. 52 p. Tese ("Magister Scientiae"/Solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e calco-magnesianos. In: Manual de química agrícola: adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. cap. 5, p.232-245.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira Pesquisa Potassa e Fosfato, 1989. 201p.

MALTONI, K.L. **Estudo de compactação e/ou adensamento em subsuperfície de latossolos sob diferentes usos**. Viçosa, 1994. 139p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>th</sup> San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MCKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.15, p. 339-397, 1963.

MCKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in Soil Solutions. I. The form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 43, p. 70-82, 1963a.

MCKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silican in soil solutions. II. The adsorption of monosilic acid by soil and by other substances. **Canadian Journal of soil Science**, Ottawa, v.43, p.83-95, 1963b.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4<sup>th</sup> ed. Bern, Switzerland, International Potash Institute, 1987. 687 p.

NOVAIS, R.F.; KAMPRATH, E.J. Parâmetros de isoterma de adsorção de P como critério de recomendação e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.1, p.37-41, 1979.

OBIHARA, C.H.; RUSSEL, E.W. Specific adsorption of the silicate and phosphate by soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.23, n.1, p.105-117, 1972.

OLIVEIRA, A.C. et al. Uso de escórias de alto forno como fonte de nutriente na adubação florestal como fonte de nutriente na adubação florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: FCA/UNESP, 1994. p.77-96.

OLIVEIRA, M.G.A. **Determinação, adsorção e deslocamento recíprocos de silício e fósforo em Latossolos do Triângulo Mineiro**. Viçosa, 1984. 68p Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.



PEREIRA, J.E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno.** Viçosa, 1978. 84p. Tese ("Magister Scientiae"/Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.

PEREIRA, J.R.; FARIA, C.M.B. Sorção de fósforo em alguns solos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1179-1184, 1998.

PIAU, W.C. **Viabilidade do uso das escórias como corretivos e fertilizantes.** Piracicaba, 1991. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciências/Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro e em Areia Quartzosa. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.74, n.2, p.235-244, 1999.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. Piracicaba, **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.739-744, 2000.

PRADO, R.M. **Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada com corretivo de acidez do solo** Ilha Solteira, 2000.97p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v.32, n.11, p.223-231, 1973.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.** Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81).

RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T. Correlação entre o P extraído do solo por diversos extratores químicos e o absorvido pelo milho. **Bragantia**, Campinas, v.39, n.1, p.51-57,

1980. KRASNI, B. Uptake mode and physiological functions of silica. In: *Science of the Rice Plant, Physiology Fund and Agriculture policy research center*, Tokio, v.2, p. 210-23.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RIBEIRO, A.C.; FIRME, D.J.; MATTOS, A.C.M. Avaliação da eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.33, p.212-218, 1986.

TESCARO, M.D. Eficiência do uso da retoração de brassica para a correção de solos de

ROY, A.C. et al. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian Latosols. In: **SYMPOSIUM ON SOIL FERTILITY AND EVALUATION**, Honolulu, 1971. **Proceedings**. New Delhi: S.n., 1971. p. 756-765.

SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, New York, v.58, p.151-199, 1997.

SCARSETH, G.D. The Mechanism of phosphate retention by natural alumine silicate colloids. **Journal of the American Society**, Washington, v.27, p.596-616, 1965.

SHERMAN, G.D.; DIAS, I.P.S.; MONTHEITH, N.H. Calcium silicate, a new liming material. **Hawai Farm. Science**, v.13, p.8-9, 1964.

CO, Z. e P. Bragantia, Campinas, v. 33, p. 147-152, 1978

SMYTH, T.J.; SANCHES, P.A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to on Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.500-505, 1980. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 44, p. 23-40, 1975

SOUZA, J.A.; CURI, N.; GUEDES, G.A.A. Relação entre mineralogia e adsorção-dessorção de fósforo em alguns latossolos sob cerrado do planalto central. **Ciência e Prática**, Lavras, v.15, n.1, p.103-111, 1991.

VOLKWEISS, S.J. Química de acidez dos solos. In: **SEMINÁRIO SOBRE**

SUEHISA, R.H.; YONGE, O.R.; SHERMAN, G.D. **Effects of silicates on phosphorus availability to sudan grass grow on Hawai soils**. Hawaii: Agricultural Experiment Station, 1963. 40p. (Technical bulletin, 51).

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: **Science of the rice plant**. Physiology food and Agriculture policy research center, Tóquio, v.2, p.420-33, 1240p., 1995.

TAMINI, Y.N.; MATSUYAMA, D.T. The effect of calcium silicate and calcium carbonate on growth of sorghum. **Agric. Dig**, v.25, p.37-44, 1972.

TESCARO, M.D. Eficiência do método da saturação de bases para a correção da acidez de um solo álico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. **Resumos**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.103.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. 2th ed. Ontário: The Macmillan Company, 1969. 694 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W.L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Mcmillan Publishing Company, 1985. 754p.

VALADARES, J.M.A.S.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R. Estudos de materiais calcários usados como corretivo do solo no Estado de São Paulo: determinação de Mo, Co, Cu, Zn e Fe. **Bragantia**, Campinas, v.33, p.147-152, 1974.

VASCONCELLOS, C.A. et al. P em dois latossolos do Estado de MG. III-Relações entre planta, solo e P. **Revista Ceres**, Viçosa, v.22, n.119, p.22-49, 1975.

VELOSO, C.A.C., et al. Efeitos de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.49, n.1, p.123-128, 1992.

VOLKWEISS, S.J. Química da acidez dos solos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2, 1989, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1989. p.3-6.



WAUGH, D.L.; FITTS, J.W. **Estudos para interpretação de análises de solo: de laboratório e em vasos.** Raleigh: International Soil Testing, 1966. 33p. (Boletim técnico, 3).

WUTKE, A.C.P.; GARGANTINI, H. Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivos de acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v.21, p.795-805, 1962.

## APÊNDICE

Teores dos macronutrientes dos solos utilizados no experimento, obtidos na camada de 0-20 cm de profundidade<sup>1</sup>

Solo	H	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg m <sup>-2</sup>				
S1	0,69	1,8	11	22,4	0,6
S2	0,72	4,1	21	71,4	1,2
S3	0,67	4,5	21	1,2	0,7

<sup>1</sup> Análise realizada no Laboratório de Fertilidade dos Solos da UNESP

Exatidão: N, P, K, Ca, Mg e Zn analisados em solução de DTPA-10% pH 7,5

H que se pode obter 1 g de N por 14 g de H em microondas

Resultado da análise química do solo 1 aos 40 dias de incubação com escória de siderurgia (Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO g dm <sup>-3</sup>	K	Ca	N <sub>T</sub>	H+Al		Al	SU	CTC
					mmol dm <sup>-3</sup>				
SIV1P1	19	1,2	16	6	24	3	24,3	36,8	
SIV1P2	22	1,8	16	6	22	4	23,4	35,2	
SIV2P1	21	1,7	17	6	29	3	24,7	33,5	
SIV2P2	21	1,7	17	6	24	3	24,0	32,7	
SIV3P1	23	1,3	20	6	26	2	27,5	33,2	
SIV3P2	17	1,2	21	6	24	2	28,5	32,8	
SIV4P1	18	1,3	27	6	20	0	37,5	37,5	
SIV4P2	18	1,3	25	6	20	0	32,8	32,8	

Resultado da análise química do solo 2 aos 40 dias de incubação com escória de aciaria.  
(Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
	g dm <sup>-3</sup>							
S2V1P1	32	2,2	20	9	42	5	30,5	72,5
S2V1P2	30	2,1	22	9	39	3	33,5	72,5
S2V2P1	28	2,0	19	7	39	3	27,9	65,9
S2V2P2	21	1,9	19	7	37	3	26,7	63,7
S2V3P1	29	2,4	29	12	32	1	42,6	74,4
S2V3P2	25	2,3	28	12	30	1	39,3	69,3
S2V4P1	37	2,2	32	13	33	1	46,7	80,0
S2V4P2	38	2,3	30	11	33	1	42,9	75,4

## APÊNDICE

Resultado da análise química do solo 1 aos 40 dias de incubação com escória de aciaria.  
Teores dos micronutrientes dos solos utilizados no experimento, coletados na camada de 0-20 cm de profundidade <sup>1</sup>.

Solo	B	Cu	Fe	Mn	Zn
-----mg dm <sup>-3</sup> -----					
S1	0,69	1,6	11	22,4	0,6
S2	0,72	4,1	21	71,4	1,2
S3	0,67	4,5	21	7,2	0,7

<sup>1</sup> Análise realizada no Laboratório de Fertilidade dos Solos da ESALQ/USP.

Metodologia: Cu, Fe, Mn e Zn analisados em extrato de DTPA-TEA; pH 7,3

B que foi por BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,125% em microondas.

Resultado da análise química do solo 1 aos 40 dias de incubação com escória de aciaria.  
(Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
	g dm <sup>-3</sup>							
S1V1P1	19	1,9	16	6	33	3	24,3	56,8
S1V1P2	22	1,9	16	6	32	4	23,4	55,2
S1V2P1	21	1,7	17	6	29	3	24,7	53,5
S1V2P2	21	1,7	17	6	29	3	24,0	52,7
S1V3P1	23	1,3	20	6	26	2	27,5	53,2
S1V3P2	15	1,3	21	6	24	2	28,5	52,8
S1V4P1	19	1,7	27	9	20	0	37,5	57,5
S1V4P2	18	1,8	25	6	20	0	32,8	52,8

Resultado da análise química do solo 2 aos 40 dias de incubação com escória de aciária.  
(Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO g dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
S2V1P1	32	2,2	20	9	42	5	30,5	72,8
S2V1P2	30	2,1	22	9	39	3	33,5	72,5
S2V2P1	24	2,0	19	7	39	3	27,9	65,9
S2V2P2	21	1,9	19	7	37	3	26,7	63,7
S2V3P1	29	2,4	29	12	32	1	42,6	74,4
S2V3P2	28	2,2	26	12	30	1	39,3	69,5
S2V4P1	37	2,2	32	13	33	1	46,7	80,0
S2V4P2	38	2,2	30	11	33	1	42,9	75,4

Resultado da análise química do solo 3 aos 40 dias de incubação com escória de aciária.  
(Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO g dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
S3V1P1	19	1,8	21	8	31	2	30,0	61,0
S3V1P2	23	1,9	18	8	34	2	28,1	62,1
S3V2P1	17	2,0	20	9	31	1	30,9	54,4
S3V2P2	24	2,0	19	8	33	2	28,6	61,8
S3V3P1	24	2,0	24	8	30	1	33,5	63,0
S3V3P2	22	2,0	26	7	28	1	34,4	62,4
S3V4P1	20	1,8	29	11	24	0	42,3	66,5
S3V4P2	17	1,7	30	11	26	0	43,0	68,7

Resultado da análise química do solo 1 aos 40 dias de incubação com fósforo. (Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO g dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
S1V1P1	18	1,8	11	8	34	3	19,7	53,7
S1V1P2	17	2,1	11	8	34	3	20,2	54,2
S1V2P1	17	2,2	12	7	31	3	20,9	51,9
S1V2P2	16	2,3	14	8	30	2	24,1	54,4
S1V3P1	15	2,0	16	8	27	1	26,4	53,6
S1V3P2	16	2,2	19	10	27	1	31,7	58,1
S1V4P1	16	2,4	21	9	22	0	31,6	53,6
S1V4P2	16	2,2	20	9	24	0	30,3	53,8

Resultado da análise química do solo 2 aos 40 dias de incubação com fósforo. (Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO g dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						SB	CTC
		K	Ca	Mg	H+Al	Al			
S2V1P1	32	1,8	14	12	47	5	27,0	74,0	
S2V1P2	32	1,7	20	13	43	3	34,4	77,6	
S2V2P1	27	1,6	14	12	43	4	26,5	69,7	
S2V2P2	26	1,5	17	10	43	3	28,1	71,4	
S2V3P1	30	1,7	17	12	35	1	31,2	66,2	
S2V3P2	31	1,8	14	13	36	1	28,9	64,9	
S2V4P1	30	2,5	18	15	32	1	35,0	66,7	
S2V4P2	30	2,5	22	14	31	0	38,9	69,9	

Resultado da análise química do solo 3 aos 40 dias de incubação com fósforo. (Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO g dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						SB	CTC
		K	Ca	Mg	H+Al	Al			
S3V1P1	23	2,0	29	12	34	1	42,6	76,6	
S3V1P2	19	2,0	30	12	34	1	44,1	78,1	
S3V2P1	20	2,1	23	13	33	1	37,0	69,5	
S3V2P2	20	2,1	18	12	34	1	31,8	65,8	
S3V3P1	21	2,1	18	13	30	1	32,1	61,6	
S3V3P2	21	2,0	19	13	30	0	34,03	64,3	
S3V4P1	20	2,0	21	13	27	0	35,8	62,3	
S3V4P2	21	1,9	25	14	26	0	40,3	66,0	

Resultado da análise química do solo 1 após o cultivo. (Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO g dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						SB	CTC
		K	Ca	Mg	H+Al	Al			
S1V1P1	16	5,8	9	9	34	3	24,1	58,1	
S1V1P2	16	4,4	13	10	34	3	26,6	60,6	
S1V2P1	16	5,8	13	10	33	3	28,8	61,3	
S1V2P2	15	5,0	11	7	33	2	22,8	55,3	
S1V3P1	16	5,5	15	9	29	1	29,6	58,3	
S1V3P2	15	4,1	12	8	28	1	23,5	51,5	
S1V4P1	14	5,9	19	11	25	0	35,4	60,4	
S1V4P2	19	4,1	18	10	24	0	32,1	55,6	

Resultado da análise química do solo 2 após o cultivo. (Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO g dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al.	Al.	SB	CTC
S2V1P1	30	6,6	13	11	51	4	31,2	82,0
S2V1P2	34	2,6	20	13	41	3	34,9	75,6
S2V2P1	30	6,5	16	12	50	5	33,4	82,9
S2V2P2	29	3,5	14	13	43	3	29,9	73,2
S2V3P1	35	6,5	18	13	43	2	37,2	80,4
S2V3P2	35	2,5	23	15	34	1	39,6	73,8
S2V4P1	34	6,8	25	15	37	1	46,1	83,1
S2V4P2	30	2,9	28	15	31	0	46,1	77,1

Resultado da análise química do solo 3 após o cultivo. (Média de 4 repetições)

Tratamentos	MO g dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
S3V1P1	20	6,2	14	12	40	3	32,4	72,4
S3V1P2	21	4,9	15	12	36	2	31,4	67,4
S3V2P1	20	6,5	14	12	37	3	32,5	69,5
S3V2P2	21	3,9	13	11	37	2	28,6	65,8
S3V3P1	21	5,6	18	14	32	1	37,1	68,9
S3V3P2	20	4,6	18	13	32	1	35,5	67,2
S3V4P1	20	6,2	20	13	30	1	39,2	69,5
S3V4P2	21	4,7	22	14	29	0	40,8	69,5

Teores de Ca, Mg, K, S e N acumulados na planta. (Média de 4 repetições)

Tratamento	Ca	Mg	K	S	N
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
S1V1P1	33	14	73,1	6	25,0
S1V1P2	81	33	112,7	13	51,5
S1V2P1	39	14	47,6	6	26,9
S1V2P2	89	29	113,1	11	46,6
S1V3P1	53	16	61,4	7	31,0
S1V3P2	111	33	135,6	14	54,6
S1V4P1	58	16	51,6	8	34,5
S1V4P2	122	33	74,3	12	51,8
S2V1P1	14	7	15,7	2	12,9
S2V1P2	156	65	328,1	23	80,8
S2V2P1	13	6	20,3	2	10,9
S2V2P2	118	46	228,0	18	67,1
S2V3P1	17	7	17,5	2	13,1
S2V3P2	161	58	118,9	26	84,4
S2V4P1	26	10	9,1	3	15,4
S2V4P2	177	57	154,6	26	84,7
S3V1P1	38	15	35,6	7	23,5
S3V1P2	102	37	66,7	16	49,8
S3V2P1	38	15	78,2	6	21,9
S3V2P2	113	39	225,0	16	55,0
S3V3P1	58	17	115,8	7	25,1
S3V3P2	116	36	177,0	15	52,7
S3V4P1	51	15	81,2	6	24,9
S3V4P2	126	36	141,6	14	49,4

**unesp** 

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Câmpus de Ilha Solteira**

**Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

**Av. Brasil, 56 Centro**

**15385-000 Ilha Solteira - SP**

**[www.feis.unesp.br](http://www.feis.unesp.br)**



**unesp** 