

**MARCOS VIEIRA DE FARIA**

**METAIS PESADOS EM SOLO E PLANTA COM APLICAÇÃO DE SILICATOS  
EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

**Orientadora:**

Prof. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana

**Co-Orientador:**

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

**UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2010**

**MARCOS VIEIRA DE FARIA**

**METAIS PESADOS EM SOLO E PLANTA COM APLICAÇÃO DE SILICATOS  
EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 05 de fevereiro de 2010.

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer  
(co-orientador)

UFU

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriane de Andrade Silva

UFU

Dr<sup>a</sup>. Lilian Aparecida de Oliveira

Pesquisadora CNPq

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana  
ICIAG-UFU  
(Orientadora)

**UBERLÂNDIA  
MINAS-GERAIS - BRASIL**

2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

F224m Faria, Marcos Vieira de, 1982-  
Metais pesados em solo e planta com aplicação de silicatos em  
cana-de-açúcar [manuscrito] / Marcos Vieira de Faria. - 2010.  
57 f. : il.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.  
Co-orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Inclui bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Adubação - Teses. 2. Solos - Fertilidade -  
Teses. 3. Silicatos - Teses. 4. Solos - Correção - Teses. I. Lana, Regi-  
na Maria Quintão. II. Korndörfer, Gaspar Henrique, 1953- . III.  
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia. IV. Título.

---

CDU: 633.61:631.81

*Aos meus pais, Afonso e Neusa (In memoriam),*

*A minha namorada Franciele;*

*A minha orientadora Regina*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e pela oportunidade de estar concluindo mais essa etapa.

Aos meus pais Afonso Rosa de Faria e Neusa Maria Vieira de Faria (*In memoriam*) e toda minha família, que me apoiaram em todos os momentos e contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

A minha namorada Franciele Vieira Gama, pelo apoio e compreensão, em todos os momentos, e pela ajuda em todas as etapas deste trabalho.

Agradeço a professora Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana, por toda orientação e ensinamentos, pela compreensão nos momentos difíceis e pelo grande incentivo.

Ao professor Dr. Gaspar Henrique Korndörfer, pela oportunidade da realização do experimento e por toda orientação.

A Dr<sup>a</sup>. Adriane de Andrade Silva, por toda orientação, dedicação e esforço para a conclusão desse trabalho.

A Usina Açucareira Guaíra, Guaíra – SP, pelo incentivo e disponibilidade de materiais, recursos humanos e financeiros necessários para a realização da pesquisa. A empresa Holcim do Brasil, pela escória de siderurgia cedida para a realização deste experimento.

A Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade e pelo suporte para realização do curso.

A CAPES, pela bolsa de estudos a qual foi imprescindível para a realização e conclusão do mestrado.

Em especial, ao doutorando Luís Augusto Domingues Silva e à mestre Letícia Barbaresco Vitorino, pelo imenso apoio e ajuda durante o mestrado. Ao mestrando Leonardo Silva Araújo, pelo companheirismo e pela ajuda na condução do nosso experimento.

Aos professores Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães e Dr<sup>a</sup>. Ângela Maria Quintão Lana pela orientação nas análises estatísticas.

A Dr<sup>a</sup>. Lilian Aparecida Oliveira e Dr<sup>a</sup>. Adriane de Andrade Silva, pela disponibilidade de participar da banca examinadora deste trabalho.

Aos funcionários e a equipe de pesquisa do LABAS (Laboratório de Análise de Solos, Calcário e Foliar da Universidade Federal de Uberlândia), LAFER (Laboratório de Análise de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia) e do LABRAS (Laboratório Brasileiro de Análise Agrícola, Monte Carmelo-MG).

Aos professores e funcionários do curso de Pós Graduação em Agronomia, pela oportunidade de convívio e pelos ensinamentos.

A todos os colegas da Pós Graduação em agronomia, com quem passei bons momentos no decorrer do curso.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a conclusão do mestrado.

MUITO OBRIGADO.

Viver não é preencher o dia a dia

**Viver**

É crer nalguma coisa  
É sonhar com algo de grande e belo,  
É acreditar  
É ter esperança de que o amanhã será melhor.

**Viver**

É nunca desesperar  
É cada dia recomeçar  
É cada dia crescer  
É ser cada dia melhor  
É cada momento sorrir.

**Viver**

É gastar a vida por uma causa.  
É estar acordado para a realidade presente,  
É ser homem simplesmente!

**Viver**

É nunca descansar  
Enquanto o mundo houver ódio.  
É lutar por um ideal.  
É nunca nos darmos por vencidos;  
É ser cada dia unicamente jovem!

**Viver**

É dar-nos generosamente ao mundo.  
Viver, viver é Amar!  
É crer em Jesus!

(Neusa Maria Vieira de Faria)

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS .....	i
LISTA DE FIGURAS .....	iv
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 O desenvolvimento e o cultivo da cana-de-açúcar.....	03
2.2 Exigências nutricionais.....	03
2.3 Acidez e uso de escórias siderúrgicas como corretivo de solo.....	05
2.4 Uso de escórias siderúrgicas como fonte de silício para as plantas.....	07
2.5 Metais pesados.....	08
2.6 Silício e tolerância de plantas a metais pesados.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Localização da área experimental.....	13
3.2 Caracterização físico-química do solo na área experimental.....	13
3.3 Caracterização dos corretivos de solo utilizados.....	14
3.4 Tratamentos e delineamento estatístico.....	15
3.5 Coleta de amostras e análises realizadas.....	16
3.6 Análises químicas laboratoriais.....	17
3.6.1 Análises foliares.....	17
3.6.2 Análises de solo.....	17
3.7 Análises estatísticas.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1 Análises de solo .....	19
4.1.1 Alumínio, pH CaCl <sub>2</sub> , cálcio, magnésio e matéria orgânica .....	19
4.1.2 Micronutrientes .....	27
4.1.3 Metais pesados .....	36
4.2 Análises foliares.....	40
4.2.1 Micronutrientes.....	40
4.2.2 Metais pesados.....	45
5 CONCLUSÕES .....	50
6 REFERÊNCIAS .....	51

## LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Classes de interpretação da disponibilidade de micronutrientes no solo, segundo CFSEMG, (1999) .....	04
2	Faixas de teores adequados de micronutrientes foliares na cana-de-açúcar (RAIJ et al, 1996) .....	04
3	Limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos em corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade para silicato de cálcio, silicato de magnésio, carbonato de cálcio e magnésio e escória silicatada .....	08
4	Valores orientadores para solos em mg kg <sup>-1</sup> de peso seco <sup>(1)</sup> .....	09
5	Concentração crítica de metais pesados em plantas e na dieta de animais.....	10
6	Caracterização química do solo da área experimental Avenida, em abril de 2008.....	13
7	Caracterização física do solo da área experimental Avenida, em agosto de 2009 .....	13
8	Caracterização química do solo da área experimental Vargem, em abril de 2008 .....	14
9	Caracterização física do solo da área experimental Vargem, em agosto de 2009 .....	14
10	Caracterização dos silicatos com relação aos teores de CaO, CaCO <sub>3</sub> , MgO, MgCO <sub>3</sub> , poder de neutralização (PN), reatividade (ER) e poder relativo de neutralização total (PRNT).....	14
11	Caracterização dos silicatos com relação aos teores de Cu, Fe, Zn, Mn, Si, Cd, Cr, Ni e Pb.....	15
12	Médias de pHCaCl <sub>2</sub> no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	20
13	Médias de cálcio no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009..	22
14	Médias de magnésio no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	23

15	Médias de matéria orgânica no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	25
16	Médias de cobre no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009..	28
17	Médias de ferro no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009..	30
18	Médias de zinco no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009..	31
19	Médias de manganês no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	33
20	Médias de silício no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009..	34
21	Médias de níquel no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009..	37
22	Médias de chumbo no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	39
23	Médias de cobre na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	40
24	Médias de ferro na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	41
25	Médias de manganês na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	42
26	Médias de zinco na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	43
27	Médias de silício na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	44
28	Médias de cádmio nas folhas de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	45

29	Médias de cromo nas folhas de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	46
30	Médias de níquel nas folhas de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	47
31	Médias de chumbo nas folhas de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009.....	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	pH no solo, na profundidade 30-45 cm, em resposta a diferentes doses dos silicatos (Agrosilício e Holcim), Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009 .....	21
2	Matéria orgânica no solo, na profundidade 15-30 cm, em resposta a diferentes doses do silicato Agrosilício, Fazenda Avenida, Guaíra - SP, 2009 .....	26
3	Zinco no solo, na profundidade (15-30 cm), em resposta a diferentes doses dos silicatos (Agrosilício e Holcim), Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009 .....	32
4	Cromo foliar, em resposta a diferentes doses dos silicatos (Agrosilício e Holcim), Fazenda Avenida, Guaíra - SP, 2009 .....	47
5	Chumbo foliar, em resposta a diferentes doses dos silicatos (Agrosilício e Holcim), Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009 .....	48

## RESUMO

FARIA, Marcos Vieira de. **Metais pesados em solo e planta com aplicação de silicatos em cana-de-açúcar**. 2010. 57p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

O uso de silicatos é uma alternativa que, além dos benefícios da correção da acidez do solo, fornecimento de cálcio e magnésio como o calcário, fornece o silício que pode apresentar vários benefícios para as plantas, como o aumento da resistência ao ataque de pragas e doenças, regulação da taxa de transpiração, aumento da eficiência fotossintética e amenização de estresse causado por metais pesados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses e fontes de silicatos, quanto à alteração de atributos químicos e contaminação por metais pesados no solo em diferentes profundidades (0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm) e a presença de micronutrientes e metais pesados nas folhas de cana-de-açúcar. Foram conduzidos dois experimentos no ano agrícola 2008/2009, em áreas pertencentes à Usina Açucareira Guaíra, município de Guaíra - SP. O primeiro experimento foi instalado na fazenda Avenida e o segundo experimento na fazenda Vargem. Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 2 x 3 + 1. O primeiro fator constituiu-se de dois silicatos (Holcim e Agrosilício) e o segundo fator pelas doses dos silicatos (400; 800 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>). O tratamento controle (testemunha) constou na ausência da aplicação de silicato. Na fazenda Avenida, o plantio foi realizado no dia 23 de abril de 2008, a variedade de cana-de-açúcar plantada foi a SP 80-3280. Enquanto na fazenda Vargem, o plantio foi realizado no dia 01 de maio de 2008 e a variedade de cana-de-açúcar plantada foi a RB92-5345. Foram realizadas amostragens de folhas na época da colheita (agosto de 2009) e amostragem de solo nas profundidades (0-15, 15-30 e 30-45 cm) após a colheita, e os nutrientes avaliados foram: os micronutrientes (ferro, zinco, manganês, cobre), silício e metais pesados (cádmio, cromo, níquel e chumbo). Para o solo, além dos micronutrientes e metais pesados, também foram avaliados os atributos químicos: pH CaCl<sub>2</sub>, alumínio, cálcio e magnésio. Os resultados foram submetidos inicialmente aos testes de pressuposições do modelo: homogeneidade das variâncias (teste de Levene), normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e aditividade (teste de Tukey para não-aditividade). Em seguida, realizou-se o teste de Tukey e Dunnet, para variável fonte, e a análise de regressão, para a variável dose. De modo geral, a aplicação de diferentes doses e fontes de silicatos não promoveram alterações nos atributos químicos do solo, teores de micronutrientes e contaminação com metais pesados nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas. Assim como, também não promoveu alteração nos teores de micronutrientes e metais pesados nas folhas da cultura da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum* (L.), corretivos agrícolas, resíduos industriais.

---

<sup>1</sup>Orientadora: Regina Maria Quintão Lana - UFU.

<sup>1</sup>Co-orientador : Gaspar Henrique Korndörfer - UFU.

## ABSTRACT

FARIA, Marcos Vieira de. **Heavy metals on soil and plant under silicate application on sugar cane.** 2010. 57p. Dissertação (Master in Agronomy/ Soils) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

The use of silicates is an alternative that beyond the benefits of acidity correction, calcium and magnesium supply also have the silicon that presents many benefits to the plants as insect and disease's resistance increase, transpiration rate regulation, increase on photosynthetic efficiency and stress reduction caused by heavy metals. The purpose of this project was to evaluate the effects of different dose and sources of silicates application over soil chemical attributes and its contamination by heavy metals on different soil depths (0-15 cm, 15-30 cm and 30-45 cm) and their presence and micronutrients on sugar cane leaves. There were set two experiments during the agricultural year of 2008/2009, in the areas of Guaíra's Sugar Mill located at Guaíra-SP. One experiment was set at Avenida's farm and the other at Vargem's farm. It was used a randomized block experimental delineation with four replications. The treatments were distributed as an factorial scheme 2 x 3 + 1. The first factor constituted of two silicates (Holcim and Agrosilício) and the second was silicate's dose (400; 800 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>). The control treatment had no silicate application. On Avenida's farm the planting was done on April 23<sup>th</sup> of 2008 and the sugarcane variety was SP 80-3280. However on Vargem's farm the planting was done on May 1<sup>st</sup> of 2008 and the variety used was RB92-5345. There were done leaves sampling during the harvest period (August of 2009) and soil sampling on the following depths: (0-15, 15-30 e 30-45 cm) after the harvest, and the nutrients evaluated were: micronutrients (iron, zinc, manganese, copper), silicium and heavy metals (cadmium, chrome, nickel and lead). To the soil besides micronutrients and heavy metals, also were evaluated the chemical attributes: pH, CaCl<sub>2</sub>, aluminum, calcium, and magnesium. The results were firstly submitted to the presupposition models: variance homogeneity (Levene's test), residual normality (Shapiro-Wilk's test) and additive (Tukey for non additive's test). Secondly was done Tukey and Dunnet's test for source and regression analyzed for dose. Generally, the application of different sources and doses did not promote changes on soil chemical attributes, micronutrients content and heavy metal contamination on the three evaluated depths and the two farms. Therefore, did not promoted changes on micronutrients and heavy metal's amount in sugarcane leaves.

**Keywords:** *Saccharum officinarum* (L.), Agricultural corrective, industrial residue.

---

<sup>1</sup>Advisor: Regina Maria Quintão Lana – UFU.

<sup>1</sup>Co-advisor: Gaspar Henrique Korndörfer - UFU.

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o que demonstra a grande relevância do setor para o agronegócio brasileiro. As usinas utilizam a cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol, e, ainda, seus subprodutos (torta de filtro, vinhaça e cinzas), os quais são aplicados como fertilizantes na lavoura canavieira, e também o bagaço e a palha que são utilizados para a cogeração de energia elétrica. Já os pequenos e médios produtores rurais, empregam a cana-de-açúcar na fabricação de cachaça, rapadura, açúcar mascavo e também para a alimentação de animais.

Segundo previsões da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2009), para a safra 2009/10, estima-se que serão colhidos 612,2 milhões de toneladas de cana, com produtividade média de 81,3 toneladas por hectare e a área cultivada de 7,5 milhões de hectares, sendo 45 % da produção destinadas para à fabricação de açúcar e 55 % destinadas para à produção de etanol.

O uso de silicatos na cultura da cana-de-açúcar é uma alternativa viável que, além dos resultados equivalentes ao calcário, como a correção da acidez do solo, fornecimento de cálcio e magnésio, fornece o silício, o qual confere benefícios às plantas, tais como: aumento da resistência ao ataque de pragas e doenças, regulação da taxa de transpiração, aumento da eficiência fotossintética e amenização de estresse causado por metais pesados, o que pode resultar em aumento de produtividade.

As atividades industriais geram uma grande quantidade de resíduos, sendo o setor siderúrgico responsável pela produção de toneladas de escórias siderúrgicas, caracterizados como resíduos da metalurgia do ferro e do aço. Os silicatos são obtidos por meio da reação de calcário com a sílica presente no minério de ferro em altas temperaturas. Como se trata de um resíduo volumoso, e caso não seja utilizado, por exemplo, para fins agrícolas, que se torna um destino ambientalmente viável para o mesmo, as escórias siderúrgicas devem ser depositadas em grandes aterros onde se tornam um grave passivo ambiental. As escórias apresentam composição variável como o silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) e silicato de magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ) e elementos como fósforo (P), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdênio (Mo) e cobalto (Co), podendo apresentar também alguns metais pesados como o cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) e chumbo (Pb).

Uma escória pode ser empregada em atividades agrícolas, desde que apresente características corretivas e/ou fertilizantes e não contamine o solo e os mananciais

hídricos. Caso comprovado o potencial agrícola de uma escória, esta deve então ser entendida como um subproduto dos processos siderúrgicos e não apenas um resíduo. Portanto, faz-se necessário encontrar um destino final adequado para esse resíduo industrial.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses e fontes de silicatos, quanto à alteração de atributos químicos e contaminação por metais pesados no solo em diferentes profundidades (0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm) e a presença de micronutrientes e metais pesados nas folhas de cana-de-açúcar.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 O desenvolvimento e o cultivo da cana-de-açúcar**

A partir do século XXI, o cultivo da cana-de-açúcar vem crescendo nas usinas tradicionais e em novos empreendimentos que estão sendo instalados nas últimas safras, em áreas do oeste do estado de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e na região Norte e Nordeste do Brasil, principalmente tendo em vista o aumento do consumo do etanol, tanto no mercado interno, como mundial (FIGUEIREDO, 2008). Há novas discussões que envolvem a questão ambiental, a situação do petróleo versus etanol, a co-geração de energia via queima do bagaço e palha e novas práticas de manejo e adubação (FIGUEIREDO, 2008).

O ambiente de produção de cana-de-açúcar é definido em função das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, adubação, adição de vinhaça, torta de filtro e palha, do controle de ervas daninhas e pragas. Lembrando que tais condições ainda são associadas com às condições de sub-superfície dos solos e ao clima regional (precipitação pluviométrica, temperatura, radiação solar, evaporação) e também, com o grau de declividade onde os solos ocorrem na paisagem (PRADO et al., 2008).

As tecnologias aplicadas no setor canavieiro, em termos de agricultura avançada, são notáveis. Há variedades desenvolvidas para ambientes e manejos específicos, sendo necessários estudos com produtos aplicados na cana, como os silicatos (FIGUEIREDO, 2008).

### **2.2 Exigências nutricionais**

O conhecimento da capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo é muito importante, para, se necessário, complementá-la com adubações e, se constatada a presença de elementos em níveis tóxicos, reduzir seus efeitos pela correção do solo e gessagem (CENTEC, 2004). A caracterização das deficiências e/ou excessos de nutrientes pode ser feita mediante o uso de alguns procedimentos de diagnoses, destacando-se análise de solo e plantas, diagnose visual e histórico da área (ABREU et al., 2007).

A extração e exportação de nutrientes que a cana-de-açúcar necessita para uma produção de 100 t ha<sup>-1</sup> é da ordem de 143 kg de nitrogênio (N), 43 kg fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 210 kg potássio (K<sub>2</sub>O), 87 kg cálcio (Ca), 49 kg magnésio (Mg) e 44 kg enxofre (S). No caso dos micronutrientes, são necessários 7.318 g de ferro (Fe), 2.470 g de manganês (Mn), 592 g de zinco (Zn), 339 g de cobre (Cu), e 235 g de boro (B) (ORLANDO FILHO, 1993). No Brasil, os micronutrientes que podem apresentar as maiores limitações para a produção de cana-de-açúcar são: boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e molibdênio (Mo) (MELLIS; QUAGGIO; CANTARELLA, 2008).

A comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) sugere as faixas de teores adequados para micronutrientes no solo (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de interpretação da disponibilidade de micronutrientes no solo, segundo CFSEMG, (1999)

Micronutrientes	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio <sup>1/</sup>	Bom	Alto
	------(mg dm <sup>-3</sup> )-----				
Zinco disponível (Zn) <sup>2/</sup>	≤ 0,4	0,5 – 0,9	1,0 – 1,5	1,6 – 2,2	> 2,2
Manganês disponível (Mn) <sup>2/</sup>	≤ 2,0	3,0 – 5,0	6,0 – 8,0	9,0 – 12,0	> 12,0
Ferro disponível (Fe) <sup>2/</sup>	≤ 8,0	9,0 – 18,0	19,0 – 30,0	31,0 – 45,0	> 45,0
Cobre disponível (Cu) <sup>2/</sup>	≤ 0,3	0,4 – 0,7	0,8 – 1,2	1,3 – 1,8	> 1,8
Boro disponível (B) <sup>3/</sup>	≤ 0,15	0,16 – 0,35	0,36 – 0,60	0,61 – 0,90	> 0,90

<sup>1/</sup> O limite superior desta classe indica o nível crítico. <sup>2/</sup> Método Mehlich-1. <sup>3/</sup> Método água quente.

Raij et al. (1996) sugerem as faixas de teores foliares adequados de micronutrientes em cana-de-açúcar (Tabela 2).

Tabela 2. Faixas de teores adequados de micronutrientes foliares na cana-de-açúcar (RAIJ et al., 1996)

B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
10-30	6-15	40-250	25-250	0,05-0,2	10-50

A cana-de-açúcar é uma das gramíneas que mais extraem silício (Si) do solo (PRADO; FERNANDES; NATALE, 2003), com respostas favoráveis à adubação silicatada, particularmente em solos pobres deste elemento, como os solos do cerrado. De acordo com Korndörfer e Datnoff (1995), em folhas jovens, foi determinado 0,14% de Si e em folhas velhas, 6,7%, e segundo Ma; Miyake; Takahashi (2001), acima de 1% de Si foliar pode-se considerar a planta acumuladora de Si.

### **2.3 Acidez e uso de escórias siderúrgicas como corretivo de solo**

A correção da acidez do solo para a cultura da cana-de-açúcar pelo uso de corretivos de solo é necessária na busca de produtividade, associada com o máximo retorno econômico com os insumos empregados. Este assunto torna-se mais importante pelo momento que vive a cultura da cana, com grande expressão em solos de baixa fertilidade e acidez acentuada, devido à expansão de fronteira da cana para áreas de pastagens e da região dos cerrados (QUAGGIO; RAIJ, 2008).

Os corretivos de acidez do solo são produtos capazes de neutralizar a acidez e ainda levar nutrientes essenciais às plantas, principalmente o cálcio e o magnésio. Geralmente, os materiais empregados como corretivos de acidez são óxidos, hidróxidos, escórias e carbonatos de Ca e Mg (MALAVOLTA, 1980).

Os carbonatos são os corretivos de solo mais utilizados, porém há uma preocupação em se encontrar corretivos alternativos e que possuam a mesma eficiência dos carbonatos, já que estes são minerais não renováveis. Assim sendo, o uso das escórias de siderurgia vem sendo estudado desde 1916 e tem ganho cada vez mais importância na atividade agrícola mundial (WUTKE et al., 1962).

Com a instalação do parque siderúrgico brasileiro, a geração de resíduos tem-se tornado problema grave, em razão dos impactos que os materiais podem causar aos ecossistemas terrestres e aquáticos (AMARAL SOBRINHO et al., 1993). Desse modo, é importante que sejam intensificadas as pesquisas integradas de aproveitamento dos resíduos industriais, como maneira viável de minimizar tais impactos ou como alternativa para a produção de corretivos e fertilizantes (NOVAIS et al., 2007).

A aplicação de resíduos no solo com finalidades agrícolas requer um estudo metódico, de modo a atender não só à legislação ambiental vigente, evitando, dessa forma, a poluição de áreas produtivas, como também a regulamentação que limita o teor de poluentes nos alimentos. Um dos grandes problemas para o uso agrícola de resíduos é a presença de metais pesados que, conforme o teor pode ser fitotóxico ou entrar na cadeia trófica, causando problemas à saúde do homem e de outros animais, além de contaminar a água subterrânea (NOVAIS et al., 2007).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2004), a forma final de descarte de um resíduo industrial depende do grau de periculosidade do resíduo sólido, conforme a norma ABNT 10.004, que indica a disposição final de materiais inertes e não inertes em aterros convencionais; perigosos em aterro especial e,

para os perigosos, indica a estocagem. Verifica-se que a ABNT não coloca o uso agrícola como uma forma de descarte para qualquer resíduo sólido.

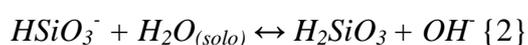
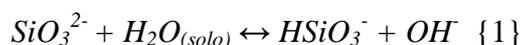
As escórias siderúrgicas correspondem a um dos resíduos da metalurgia do ferro e do aço e são obtidas por meio da reação de calcário com a sílica presente no minério de ferro:  $\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 \leftrightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{MgSiO}_3 + \text{CO}_2$  (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004). Essa reação ocorre com temperatura acima de 1900°C e faz-se necessária pelo fato de que a sílica corresponde à principal impureza da matéria prima da produção metalúrgica.

A composição química das escórias varia de acordo com a matéria-prima utilizada para a fundição do ferro e do aço. Dentre os principais constituintes de uma escória destaca-se a grande concentração de óxidos de cálcio, magnésio, silício, ferro e manganês (PRADO; FERNANDES, 2001).

As escórias de siderurgia silicatadas já vêm sendo utilizadas na agricultura em diversas partes do mundo. Em alguns países asiáticos, como o Japão e Taiwan, utiliza-se anualmente de 1,5 a 2,0 t ha<sup>-1</sup> de escória, principalmente na cultura do arroz, visando os benefícios que o silício traz para esta cultura e os eventuais aumentos de produtividade destas plantas (LIAN, 1976). Entretanto, no Brasil, apesar da grande disponibilidade, aproximadamente 3 milhões de toneladas por ano, os resíduos industriais são pouco utilizados nas atividades agrícolas (PRADO; FERNANDES, 2001).

Uma escória, para ser usada na agricultura como corretivo, deve apresentar um poder neutralizante (PN) mínimo de 67%, somatório de % de CaO + MgO mínimo de 38 % e poder relativo de neutralização total (PRNT) mínimo de 45%, promover correção da acidez do solo, além de fornecer cálcio, magnésio ou ambos (ALCARDE, 2009).

Dentre os principais componentes de uma escória de siderurgia, destacam-se os silicatos de cálcio (CaSiO<sub>3</sub>) e de magnésio (MgSiO<sub>3</sub>), sendo estes, os responsáveis pela correção da acidez do solo. Basicamente, o mecanismo de correção da acidez pelos silicatos presentes nas escórias pode ser explicado pelas seguintes reações descritas por Alcarde; Rodella (2003):



As equações demonstram que a hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas (OH<sup>-</sup>) que, no solo, reagem neutralizando os prótons (H<sup>+</sup>), promovendo a elevação do pH, e ainda reagindo com o alumínio (Al<sup>3+</sup>) presente no solo, formando o hidróxido de alumínio (Al(OH)<sub>3</sub>), que corresponde a uma forma precipitada e não tóxica aos vegetais.

## **2.4 Uso das escórias siderúrgicas como fonte de silício para as plantas**

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio. Está presente em consideráveis quantidades na maioria dos solos, porém os cultivos consecutivos podem diminuir o teor de Si até o ponto em que a adubação silicatada seja necessária para maximizar a produção (KORNDÖRFER; PEREIRA; NOLLA, 1999).

O silício no solo está relacionado com os processos de formação dos solos, pois é um dos principais elementos constituintes dos argilominerais, podendo variar entre 5 e 40% de Si, e pode afetar a nutrição de plantas (TISDALE; NELSON; BEATON, 1985). O Si, segundo Mckeague; Cline (1963), está presente no solo na forma solúvel (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), facilmente aproveitável pelas plantas, porém, se for polimerizado pode ser dificilmente aproveitado pelas plantas, assim como se for adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro, alumínio, manganês.

A presença do ácido silícico no solo é influenciada por fatores como: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação do silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos e adição de fertilizantes silicatados. Os principais drenos incluem a precipitação do silício em solução formando minerais; a polimerização do ácido silícico; a lixiviação; a adsorção em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, além da absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999).

Como já descrito, o mecanismo de correção da acidez do solo, pelo uso dos silicatos, resulta na produção do ácido monossilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), que corresponde à forma química pela qual a planta absorve o silício, que é um micronutriente benéfico às plantas (BRASIL, 2004).

Além do seu importante papel como indutor de resistência ao ataque de pragas e doenças, o Si desempenha diversas outras funções benéficas nessa cultura, dentre as quais, o aumento da eficiência fotossintética e maior tolerância a déficits hídricos, com

reflexos na produtividade (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002), além de promover alívios de danos causados por geadas e melhoria na arquitetura das plantas (SAVANT et al., 1999), amenização de estresse salino e de metais pesados (NOVAIS et al., 2007).

## 2.5 Metais pesados

O termo metal pesado, embora não seja de fácil definição, é reconhecido e utilizado mundialmente. Esse termo é adotado para um grupo de metais metalóides que estão associados com poluição e toxidez, incluindo neste termo alguns elementos que, em baixa concentração, são essenciais aos organismos vivos (NOVAIS et al., 2007). Metais pesados são aqueles de alta densidade (acima de  $5 \text{ g cm}^{-3}$ ) que são potencialmente tóxicos na forma de íons. Eles incluem arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn) (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Os metais pesados são, provavelmente, os mais antigos tóxicos conhecidos para os seres humanos. A utilização desses metais, pelo homem, pode ocasionar danos à saúde humana devido ao seu transporte através do ar, solo, água e alimentos. Os requerimentos para as diferentes espécies de organismos variam substancialmente, mas as faixas ótimas de concentração são geralmente estreitas e muito próximas dos teores tóxicos. Os desequilíbrios muito severos no aporte dos elementos podem causar a morte, enquanto desequilíbrios menos severos contribuem com a manifestação de patologias de diversas ordens, incluindo o retardo do crescimento (RAIJ, 2001).

Com o objetivo de reduzir os riscos de contaminação do solo e a transferência para a cadeia alimentar de metais pelo uso de fertilizantes, corretivos e resíduos industriais, o Ministério da Agricultura baixou a Instrução Normativa SDA Nº 27, de 07 de junho de 2006, que definiu os limites máximos de metais pesados em corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade para silicato de cálcio, silicato de magnésio, carbonato de cálcio e magnésio e escória silicatada (ALCARDE, 2009).

Tabela 3. Limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos em corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade para silicato de cálcio, silicato de magnésio, carbonato de cálcio e magnésio e escória silicatada

Metal pesado	$\text{mg kg}^{-1}$
Cádmio (Cd)	20,0
Chumbo (Pb)	1.000,0

Fonte: ALCARDE (2009).

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N° 420, de 28 de dezembro de 2009, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Nesta resolução, os valores de referência de qualidade para o solo ficaram para ser definidos pelo estado (CONAMA, 2009). Nesse sentido, o relatório publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2005) estabelece valores orientadores para poluentes orgânicos e inorgânicos em solos e águas subterrâneas do Estado de São Paulo (Tabela 4).

Tabela 4. Valores orientadores para solos em  $\text{mg kg}^{-1}$  de peso seco<sup>(1)</sup>

Substância	Referência de qualidade (CETESB, 2005)	Prevenção (CETESB, 2005; CONAMA, 2009)
	----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----	
Alumínio	-	-
Antimônio	< 0,5	2
Arsênio	3,5	15
Bário	75	150
Boro	-	-
Cádmio	< 0,5	1,3
Chumbo	17	72
Cobalto	13	25
Cobre	35	60
Cromo	40	75
Ferro	-	-
Manganês	-	-
Merúrio	0,05	0,5
Molibdênio	< 0,4	30
Níquel	13	30
Nitrato	-	-
Prata	0,25	2
Selênio	0,25	5
Vanádio	275	-
Zinco	60	300

<sup>(1)</sup>Para comparação com valores orientadores, utilizar as recomendações dos métodos 3050b (exceto para o elemento mercúrio) ou 3051 da United States Environmental Protection Agency (USEPA): SW-846 ou outro procedimento equivalente, para digestão ácida de amostras de solos na determinação das substâncias inorgânicas por técnicas espectrométricas.

Embora a legislação mundial, assim como a brasileira, baseie-se no teor total de metais para fins de fiscalização, o teor total dos metais pesados no solo geralmente não é um bom índice para se estimar a dinâmica e impactos destes no ambiente e o absorvido pelas plantas, pois somente uma fração permanece disponível no solo (COSTA et al., 2006). Os metais podem ser adsorvidos a componentes do solo,

precipitados, ou sofrer outras reações no solo que alteram sua disponibilidade para as plantas (KABATA-PENDIAS, 2000). O desafio é avaliar o grau de contaminação do solo, bem como prever a quantidade de metais presentes que poderá ser absorvido pelas plantas. O teor disponível de metais pesados no solo pode ser considerado parâmetro importante na avaliação de uma área contaminada. O metal na forma disponível pode, ainda, lixiviar no perfil do solo e contaminar as águas subterrâneas, representando também uma rota à ser considerada em avaliação de risco (GONÇALVES, 2007).

Para as plantas e animais, Mengel; Kirkby (1987) apresentam, na tabela 5, a concentração crítica para alguns metais pesados. Os níveis maiores são considerados tóxicos.

Tabela 5. Concentração crítica de metais pesados em plantas e na dieta de animais

Elemento	Plantas	Animais
----- mg kg <sup>-1</sup> na matéria seca -----		
Cd	5 – 10	0,5 – 1
Hg	2 – 5	1
Ti	20 – 30	5
Co	10 – 20	10 – 50
Cr	1 – 2	50 – 3000
Cu	15 – 20	30 – 100
Ni	20 – 30	50 – 60
Pb	10 – 20	10 – 30
Zn	150 – 200	500

Fonte: Mengel; Kirkby (1987).

O excesso de metais pesados em plantas podem provocar danos fisiológicos, como: mudança na permeabilidade da membrana celular; reações de grupos tiólicos com cátions metálicos; afinidade com grupos fosfato do ADP e ATP; e inativação de enzimas e, ou, proteínas funcionais. Esses danos fisiológicos provocam na planta uma série de distúrbios, causando redução no crescimento, inibição da fotossíntese e respiração, degeneração das principais organelas celulares e, em muitos casos, morte das plantas (SANTOS; AMARAL SOBRINHO; MAZUR, 2006).

## 2.6 Silício e tolerância de plantas a metais pesados

Os mecanismos pelos quais o Si aumenta a tolerância das plantas ainda não estão completamente entendidos. Sabe-se que o Si atua tanto no solo, por meio de redução da biodisponibilidade dos metais, como no interior das plantas (RIBEIRO et al., 2009).

É reconhecida a ação do Si na imobilização de metais pesados no solo (LIANG; WONG; WEI, 2005; LIANG et al., 2007). Porém, enquanto alguns autores afirmam que o Si ameniza a fitotoxidez de metais, por diminuir a biodisponibilidade destes elementos, em decorrência da elevação do pH do solo (Accioly, 2001; Morikawa; Saigusa, 2002; Paim et al., 2006; Liang et al., 2007), outros defendem a imobilização como consequência do efeito direto do Si em solução, independentemente de alterações no pH do solo (LIANG; WONG; WEI, 2005; CUNHA; NASCIMENTO; SILVA, 2008).

De maneira geral, o pH apresenta relação inversa com a biodisponibilidade de metais pesados. A elevação do pH pela aplicação de silicato promove o incremento dos sítios de adsorção do solo, reduzindo os teores biodisponíveis dos metais. Em adição ao aumento da adsorção, com a elevação do pH ocorre maior precipitação, contribuindo para imobilização de metais no solo. De forma semelhante ao íon carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), os ânions  $\text{SiO}_3^{2-}$  combinam-se com íons  $\text{H}^+$  na solução do solo, diminuindo a atividade química por precipitação de metais na forma de hidróxidos. Além da precipitação na forma de hidróxidos, entretanto, a adição de Si promove a precipitação de metais na forma de silicatos (Dietzel, 2000), o que é um benefício adicional e vantajoso em relação aos calcários (PAIM et al., 2006).

Dietzel (2000) relata que, na faixa normal de pH do solo, a incorporação de silicatos promove a polimerização de compostos silicatados, que são potenciais ligantes para a formação de complexos insolúveis com os metais pesados (silicatos e metais). De fato, o ácido silícico pode existir como moléculas isoladas, também chamadas de ácido monossilícico  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ , e como polímeros, chamados de ácidos polissilícico. Esses polímeros consistem de tetraedros, que são ligados via ligações do tipo Si-O-Si, podendo formar sílica dimérica  $[\text{Si}_2\text{O}_3(\text{OH})_4^{2-}]$ , trimérica  $[\text{Si}_3\text{O}_5(\text{OH})_5^{3-}]$ , tetramérica  $[\text{Si}_4\text{O}_8(\text{OH})_4^{4-}]$ , e assim sucessivamente.

A aplicação de doses maiores que  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si ao solo promove a mudança da coordenação do Si de quatro para seis, sendo esse o ponto de partida para a sua polimerização e, conseqüente, formação de complexos insolúveis Si-metal no solo (DIETZEL, 2000; PAIM et al., 2006).

Na planta, o efeito amenizante do Si pode ser atribuído à retenção de metais nas raízes e inibição da translocação para a parte aérea (Shi et al., 2005a); deposição de SiO<sub>2</sub> no apoplasto da raiz e na superfície foliar, constituindo uma barreira ao fluxo apoplástico dos íons metálicos e ao fluxo transpiracional, respectivamente (Shi et al., 2005a); co-precipitação de complexos Si-metal na parede celular (Neumann; Nieden, 2001); compartimentalização de metais ligados a ácidos orgânicos no vacúolo (Neumann; Nieden, 2001); distribuição mais homogênea de metais e formação de complexos Si-polifenóis nos tecidos (Williams; Vlamis, 1957; Horst; Marschner, 1978; Shi et al., 2005b; Maksimovic et al., 2007); redução da peroxidação dos lipídios de membrana via estimulação de antioxidantes enzimáticos e não-enzimáticos (SHI et al., 2005b).

Liang et al. (2007) concluíram que o Si não é inerte, mas age como uma barreira física ou mecânica em plantas. Ele não é apenas depositado nas paredes celulares, mas também está ativamente envolvido em atividades metabólicas e/ou fisiológicas, especialmente em plantas sujeitas a múltiplos estresses.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização da área experimental

Foram conduzidos dois experimentos no ano agrícola 2008/2009, em áreas pertencentes à Usina Açucareira Guaíra, município de Guaíra-SP. O primeiro experimento foi instalado na fazenda Avenida (talhão 2) e o segundo experimento na fazenda Vargem (talhão 16).

#### 3.2 Caracterização físico-química do solo na área experimental

O estudo foi conduzido em áreas instaladas com a cultura da cana-de-açúcar. A unidade de solo na fazenda Avenida e Fazenda Vargem é o LATOSSOLO VERMELHO Férrico (EMBRAPA, 1999).

Antes da implantação do experimento (abril de 2008), foram coletadas amostras de solo, nas áreas experimentais das fazendas Avenida (Tabelas 6 e 7) e Vargem (Tabelas 8 e 9) no município de Guaíra-SP, para a caracterização química do mesmo.

Tabela 6. Caracterização química do solo da área experimental Avenida, em abril de 2008

Prof.	pH CaCl <sub>2</sub>	P	K	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	T	V	m	M.O.
cm		-- mg dm <sup>-3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			-----		--- % ---		g kg <sup>-1</sup>
00-20	4,92	9,2	2,7	2,53	25,5	10,1	38,7	74,0	49,5	3,5	31
20-40	5,03	3,3	1,0	2,44	18,9	6,8	26,3	59,2	42,9	3,4	19

Prof = profundidade; P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio (EMBRAPA, 1997), M.O. = Método Colorimétrico.

Tabela 7. Caracterização física do solo da área experimental Avenida, em agosto de 2009

Profundidade	Areia	Silte	Argila
	-----	g kg <sup>-1</sup> -----	
0-15 cm	127	250	623
15-30 cm	118	255	627
30-45 cm	85	210	705

Tabela 8. Caracterização química do solo da área experimental Vargem, em abril de 2008

Prof.	pH	CaCl <sub>2</sub>	P	K	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	T	V	m	M.O.
cm			-- mg dm <sup>-3</sup> --		-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----			--- % ---		g kg <sup>-1</sup>
00-20	5,0		5,0	0,6	0,51	35,5	13,7	50,0	96,0	51,2	1,0	34
20-40	5,3		4,6	0,2	0,86	24,6	9,8	34,6	67,9	50,7	1,3	23

Prof = profundidade; P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio (EMBRAPA, 1997), M.O. = Método Colorimétrico.

Tabela 9. Caracterização física do solo da área experimental Vargem, em agosto de 2009

Profundidade	Areia	Silte	Argila
	-----	g kg <sup>-1</sup>	-----
0-15 cm	98	314	588
15-30 cm	97	309	594
30-45 cm	96	278	626

### 3.3 Caracterização dos corretivos de solo utilizados

A tabela 10 demonstra a caracterização dos silicatos utilizados neste experimento (Holcim) e do produto utilizado como padrão (Agrosilício) com relação aos teores de CaO, CaCO<sub>3</sub>, MgO, MgCO<sub>3</sub>, poder de neutralização (PN), reatividade (ER) e poder relativo de neutralização total (PRNT).

Tabela 10. Caracterização dos silicatos com relação aos teores de CaO, CaCO<sub>3</sub>, MgO, MgCO<sub>3</sub>, poder de neutralização (PN), reatividade (ER) e poder relativo de neutralização total (PRNT)

Produto	CaO	CaCO <sub>3</sub>	MgO	MgCO <sub>3</sub>	PN	ER	PRNT
	----- % -----						
Agrosilício	38,1	67,8	10,9	22,9	85,9	99,0	85,0
Holcim	44,9	79,9	7,1	14,9	100,8	99,8	100,6

A tabela 11 demonstra a caracterização dos silicatos (Holcim) e do produto utilizado como padrão (Agrosilício) com relação aos teores de Cu, Fe, Zn, Mn, Si, Cd, Cr, Ni e Pb.

Tabela 11. Caracterização dos silicatos com relação aos teores de Cu, Fe, Zn, Mn, Si, Cd, Cr, Ni e Pb

Produto	Cu <sup>1</sup>	Fe <sup>1</sup>	Zn <sup>1</sup>	Mn <sup>1</sup>	Si total <sup>2</sup>	Si solúvel <sup>3</sup>	Cd <sup>1</sup>	Cr <sup>1</sup>	Ni <sup>1</sup>	Pb <sup>1</sup>
	mg kg <sup>-1</sup>									
Agrosilício	70	5075	40	8300	9,0	3,3	20	1500	200	200
Holcim	70	3300	30	5850	17,9	0,7	40	50	40	90

<sup>1</sup>Digestão ácida HCl 1:1.

<sup>2</sup>Silício total em ácido fluorídrico concentrado.

<sup>3</sup>Silício solúvel extraído após cinco dias em contato com o extrator (carbonato de sódio + nitrato de amônio - Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+NO<sub>3</sub>NH<sub>4</sub>).

### 3.4 Tratamentos e delineamento estatístico

Os dois experimentos foram instalados adotando-se delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) e com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 2 x 3 + 1. O primeiro fator constituiu-se de dois silicatos (Holcim e Agrosilício) e o segundo fator pelas doses dos silicatos (400; 800 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>). O tratamento controle (testemunha) constou na ausência da aplicação de silicato.

Para comparar a eficiência do silicato Holcim, foi utilizado como produto padrão o Agrosilício<sup>®</sup>, produzido e comercializado pela Harsco Minerais. O Agrosilício<sup>®</sup> corresponde a um agregado gerado do tratamento da escória de aço inox, o qual obteve a autorização da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e o registro do Ministério da Agricultura para o uso como corretivo de solo e fonte de silício. Lembrando que o Agrosilício<sup>®</sup> já é utilizado em lavouras comerciais com eficiência comprovada.

O plantio foi realizado com espaçamento entre linhas de 1,5 m, perfazendo um total de 5 linhas de plantio/parcela com 15 m de comprimento cada, sendo que a área-útil da parcela foi constituída de apenas 3 linhas, ficando 1 metro para a bordadura. A aplicação dos tratamentos ocorreu no mesmo dia do plantio, manualmente, no fundo do sulco de plantio, na profundidade de 20-30 cm.

Na fazenda Avenida, o preparo do solo consistiu em uma subsolagem seguida de grade niveladora e abertura de sulcos com sulcador. O plantio foi realizado no dia 23 de abril de 2008, com 15 gemas viáveis por metro linear. A variedade de cana-de-açúcar plantada foi a SP 80-3280 denominada de “cana-de-ano e meio”. Aplicaram-se no sulco de plantio o inseticida Regent<sup>®</sup> (Fipronil – 800 g kg<sup>-1</sup>), na dose de 0,2 kg ha<sup>-1</sup>. A adubação de plantio foi de 250 kg ha<sup>-1</sup> de MAP – fosfato monoamônico (11-52-00), 12

L ha<sup>-1</sup> de Starter<sup>®</sup> (S 4%; Mn 5%; Zn 3%; B 0,3%; Cu 0,3%; Mo 0,05%; N 10% e densidade 1,31) e 0,5 L ha<sup>-1</sup> de Stimulate<sup>®</sup> (Regulador de crescimento, composto pelos hormônios ácido giberélico (giberelina) 0,005%, ácido indolbutírico (auxina) 0,005% e cinetina (citocinina) 0,009% ).

Na fazenda Vargem, o preparo do solo consistiu em uma gradagem pesada com destruidor de soqueira, grade aradora, aplicação de três toneladas de calcário e grade niveladora. Em seguida, fez se a semeadura da soja e após a colheita foi feita a subsolagem seguida de grades niveladoras e abertura de sulcos com sulcador. O plantio foi realizado no dia 01 de maio de 2008, com 15 gemas viáveis por metro linear. A variedade de cana-de-açúcar plantada foi a RB92-5345 denominada de “cana-de-ano e meio”. Aplicaram-se no sulco de plantio o inseticida Regent<sup>®</sup> (Fipronil – 800 g kg<sup>-1</sup>), na dose de 0,2 kg ha<sup>-1</sup>. A adubação de plantio foi de 300 kg ha<sup>-1</sup> de MAP - fosfato monoamônico (11-52-00), 12 L ha<sup>-1</sup> de Starter<sup>®</sup> (S 4%; Mn 5%; Zn 3%; B 0,3%; Cu 0,3%; Mo 0,05%; N 10% e densidade 1,31) e 0,5 L ha<sup>-1</sup> de Stimulate<sup>®</sup> (Regulador de crescimento, composto pelos hormônios ácido giberélico (giberelina) 0,005%, ácido indolbutírico (auxina) 0,005% e cinetina (citocinina) 0,009% ).

### **3.5 Coleta de amostras e análises realizadas**

A amostragem da parte aérea da cana-de-açúcar foi realizada durante a colheita, em agosto de 2009. Foram coletadas 20 folhas ao acaso nas 3 linhas centrais da parcela, considerando uma bordadura mínima de 1 m. Coletou-se a folha +1 ou folha do Top Visible Dewlap (TVD), sendo utilizado para análise o terço médio e sem nervuras, os quais foram devidamente identificados e enviados aos laboratórios.

As amostras de solo foram coletadas após a colheita da cana, em uma faixa de 20 cm sobre a soqueira, sendo 2 sub-amostras por linha de cana das 3 linhas centrais da parcela, considerando uma bordadura mínima de 1 m. As profundidades amostradas foram: 0-15 cm; 15-30 cm e 30-45 cm.

A coleta do solo foi realizada com auxílio do trado do tipo holandês, no qual era feito toalete a cada profundidade, para evitar possíveis contaminações. O solo foi colocado em saco plástico limpo, devidamente identificado e enviado aos laboratórios.

Neste trabalho, o ferro, zinco, manganês, cobre e silício são tratados como micronutrientes e o cádmio, cromo, níquel e chumbo são tratados como metais pesados.

## **3.6 Análises químicas laboratoriais**

### **3.6.1 Análises foliares**

As amostras de folha foram encaminhadas para o laboratório, as quais foram lavadas sequencialmente, com água destilada, solução 0,1 mol L<sup>-1</sup> de HCl e água deionizada. Após a lavagem, as amostras sem nervuras foram secas e posteriormente moídas em moinho tipo Willey (peneira de 2 mm) e utilizadas para determinação dos micronutrientes (Zn, Cu, Fe e Mn), metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb) e silício (Si). Em sequência a este procedimento, as amostras de folhas foram submetidas à digestão nitro-perclórica, de acordo com a metodologia de BATAGLIA et al. (1983). Nos extratos, foram determinados Zn, Cu, Fe e Mn por espectrofotometria de absorção atômica com chama ar/acetileno, e Cd, Cr, Ni e Pb foram realizados por espectrômetro de plasma simultâneo – ICP/OES. Para as análises das concentrações de Si nas folhas, empregou-se o método de análise de silício na planta, de acordo com metodologia descrita por (KORNDÖRFER; PEREIRA; NOLLA, 2004).

### **3.6.2 Análises de solo**

As amostras de solo foram secas ao ar (TFSA), peneiradas (malha de 2 mm) e submetidas a extração com solução de DTPA, de acordo com Raij et al. (2001), para determinar os teores dos micronutrientes: ferro, zinco, manganês e cobre. As determinações analíticas dos micronutrientes nos extratos de solo foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica convencional com chama ar/acetileno, no Laboratório de Análise de Solo (LABAS) do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU); e para diagnosticar metais pesados: cádmio, cromo, níquel e chumbo, as análises foram realizadas por espectrômetro de plasma simultâneo – ICP/OES, realizadas no Laboratório Brasileiro de Análise Agrícola, Monte Carmelo-MG.

Também foram analisados no LABAS os seguintes atributos químicos, de acordo com (EMBRAPA, 1997): pH CaCl<sub>2</sub>, alumínio, cálcio e magnésio.

As análises dos teores de Si no solo foram realizadas no LAFER – Laboratório de análises de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia, de acordo com o

Método de Análise de silício “Disponível” no Solo (KORNDÖRFER; PEREIRA; NOLLA, 2004).

### **3.7 Análises estatísticas**

Os resultados constaram de análise de variância, utilizando fatorial 2 (fontes) x 3 (doses) + 1 adicional, com quatro repetições, em delineamento de blocos casualizados (DBC).

Inicialmente, realizou-se os testes de pressuposições do modelo: homogeneidade das variâncias (teste de Levene, à 0,01 de significância), normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk, à 0,01 de significância) e aditividade (teste de Tukey para não-aditividade, à 0,01 de significância), utilizando o software SPSS 16.0.

Em seguida, realizou-se o teste de Tukey e Dunnet, a 0,05 de significância, para variável fonte por meio do software Assistat versão 7.5 beta (2008), desenvolvido por Silva; Azevedo (2006), e a análise de regressão para a variável dose por meio do software Sisvar versão 4.0, desenvolvido por Ferreira (2000).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análises de solo

#### 4.1.1 Alumínio, pH em CaCl<sub>2</sub>, cálcio, magnésio e matéria orgânica

O alumínio no solo, nas três profundidades (0-15, 15-30 e 30-45 cm) e nas duas fazendas (Avenida e Vargem), apresentou valores de 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, em todos os tratamentos avaliados. Alguns autores afirmam que a atenuação da toxidez de alumínio (Al<sup>3+</sup>), induzida pelo Si, pode ser devido ao aumento do pH, e não a um efeito direto do silício (Si) em solução (GALVEZ et al., 1987; LI et al., 1996 apud LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999). Vários trabalhos, entretanto, demonstram que o Si solúvel pode formar compostos inertes com o Al na solução do solo. Baylis et al. (1994) apud Lima Filho; Lima; Tsai (1999), observaram que os efeitos benéficos do Si foram independentes dos efeitos do metassilicato de sódio sobre o pH. Outros trabalhos dão suporte à hipótese de que a interação Si-Al no tecido vegetal tem um papel significativo na diminuição da toxicidade do Al<sup>3+</sup> (HODSON; WILKINS, 1991; HODSON; SANGSTER, 1993; CORRALES et al., 1997 apud LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999).

Com a aplicação dos diferentes silicatos, em suas respectivas doses em relação à testemunha (ausência de silicato), são apresentados os mesmos valores de pH em CaCl<sub>2</sub>, nas profundidades 15-30 e 30-45 cm na fazenda Avenida, com exceção do Agrosilício na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> na profundidade de 0-15 cm, em que foi apresentado um menor valor de pH em CaCl<sub>2</sub> (Tabela 12). Na fazenda Vargem, nas profundidades 0-15 e 15-30 cm, também não foram apresentadas diferença nos valores de pH em CaCl<sub>2</sub>, porém, na profundidade de 30-45 cm, os silicatos Agrosilício, na dose de 800 kg ha<sup>-1</sup>, e Holcim, na dose de 1600 kg ha<sup>-1</sup>, apresentaram valores maiores de pH em CaCl<sub>2</sub>.

Os silicatos (Agrosilício e Holcim) utilizados não apresentaram diferença nos valores de pH em CaCl<sub>2</sub>, nas três profundidades estudadas e nas duas fazendas (Tabela 12). Os mesmos se encontraram em níveis médios, nas três profundidades, na fazenda Avenida (5,0-5,5) e níveis bons, nas três profundidades, na fazenda Vargem (5,6-6,0), segundo (RAIJ et al., 1996).

Carvalho Filho et al. (2007), avaliando a aplicação de 0, 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de Agrosilício no sulco de semeadura do milho, observaram que não ocorreu aumento no pH em água do solo. Esperava-se aumento no valor de pH com o uso de diferentes

doses dos silicatos, uma vez que o mecanismo de correção da acidez por silicato é conhecido e resulta na formação de  $\text{SiO}_3^{2-}$ , que reage com a água e libera íons  $\text{OH}^-$ , os quais neutralizam o  $\text{Al}^{3+}$  fitotóxico, conforme foi demonstrado na equação descrita por (ALCARDE; RODELLA, 2003).

Tabela 12. Médias de pH em  $\text{CaCl}_2$  no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	5,2		5,4	
400	5,0 *	5,1 <sup>ns</sup>	5,8 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>
800	5,1 <sup>ns</sup>	5,1 <sup>ns</sup>	5,9 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>
1600	5,1 <sup>ns</sup>	5,1 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>
Médias	5,1 a	5,1 a	5,8 a	5,7 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,2 CV (%) = 1,6; <b>W = 0,933</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,67; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,248</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,3; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,6 CV (%) = 5,3; <b>W = 0,97</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 3,904; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,482</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	5,3		5,6	
400	5,1 <sup>ns</sup>	5,2 <sup>ns</sup>	5,9 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>
800	5,1 <sup>ns</sup>	5,2 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	5,8 <sup>ns</sup>
1600	5,2 <sup>ns</sup>	5,2 <sup>ns</sup>	5,8 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>
Médias	5,2 a	5,1 a	5,9 a	5,8 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,2 CV (%) = 1,4; <b>W = 0,959</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,159; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,841</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,2; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,4 CV (%) = 3,8; <b>W = 0,982</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,581; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,554</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	5,5		5,6	
400	5,4 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>
800	5,4 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>	5,9 *	5,7 <sup>ns</sup>
1600	5,4 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	5,9 *
Médias	5,4 a	5,4 a	5,8 a	5,7 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,2 CV (%) = 1,6; <b>W = 0,973</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,045; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,13</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,3 CV (%) = 2,7; <b>W = 0,943</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,663; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,933</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Prado e Fernandes (2000) não observaram alteração de pH, com o uso de escória em vasos, e estes resultados discordam de Prado (2000) que aplicando doses quimicamente equivalentes de calcário e escória (aciaria), em condições de campo

cultivado com a cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca), aos 12 e 24 meses após a incorporação, observou igual mudança na correção da acidez do solo. O aumento de pH, com o uso de escória, é normalmente observado, porém, de modo geral, neste experimento o pH não foi alterado nas profundidades avaliadas.

As diferentes doses dos silicatos aplicados não apresentaram diferença na fazenda Avenida, enquanto na fazenda Vargem à medida que as doses dos silicatos aumentaram, os valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  tenderam a aumentar (Figura 1). O valor médio de pH em  $\text{CaCl}_2$  esperado é de 5,6. As taxas de incremento em pH em  $\text{CaCl}_2$ , para cada  $\text{kg ha}^{-1}$  de silicato aplicado, foi de 0,0001.

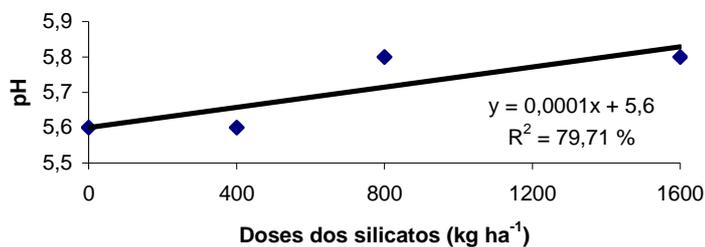


Figura 1. pH no solo, na profundidade 30-45 cm, em resposta a diferentes doses dos silicatos (Agrosilício e Holcim), Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

A aplicação dos diferentes silicatos em suas respectivas doses em relação à testemunha (ausência de silicato) não apresentou diferenças nos teores de cálcio, nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas (Tabela 13). Ocorrendo o mesmo para os silicatos Agrosilício e Holcim e suas respectivas doses.

Os níveis de cálcio encontram-se nos níveis bons e muito bons, nas três profundidades na fazenda Avenida, enquanto na fazenda Vargem os níveis são bons e muito bons, na profundidade de 0-15 cm, médios, na profundidade 15-30, e bons, na profundidade de 30-45 cm, segundo (CFSEMG, 1999).

Os teores de cálcio não foram alterados em função das doses de silicatos aplicadas. Esse comportamento não era esperado, uma vez que os silicatos, de acordo com a Tabela 10, apresentaram altos teores de  $\text{CaO}$  e  $\text{CaCO}_3$ . O comportamento de aumento nos teores de cálcio foi relatado por Korndörfer et al. (2001), que observaram um incremento de 68 % de cálcio fornecido pelo silicato até à profundidade de 40 cm.

Tabela 13. Médias de cálcio no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	4,4		4,3	
400	3,9 <sup>ns</sup>	4,1 <sup>ns</sup>	3,9 <sup>ns</sup>	4,1 <sup>ns</sup>
800	4,0 <sup>ns</sup>	4,4 <sup>ns</sup>	4,4 <sup>ns</sup>	4,1 <sup>ns</sup>
1600	4,1 <sup>ns</sup>	4,3 <sup>ns</sup>	4,0 <sup>ns</sup>	4,1 <sup>ns</sup>
Médias	4,0 a	4,3 a	4,1 a	4,1 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,2; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,5 CV (%) = 6,2; <b>W = 0,961</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,934; F<sub>não-aditividade</sub> = 10,137</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,4; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,8 CV (%) = 10,3; <b>W = 0,945</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,076; F<sub>não-aditividade</sub> = 12,517</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	3,9		1,9	
400	3,9 <sup>ns</sup>	3,9 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>
800	3,9 <sup>ns</sup>	4,1 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>
1600	3,8 <sup>ns</sup>	4,0 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>
Médias	3,8 a	4,0 a	1,9 a	2,0 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,2; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,5 CV (%) = 6,0; <b>W = 0,979</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,323; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,579</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,2 CV (%) = 5,9; <b>W = 0,891</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,969; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,054</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	2,9		2,9	
400	3,0 <sup>ns</sup>	2,9 <sup>ns</sup>	2,8 <sup>ns</sup> a	2,8 <sup>ns</sup> a
800	3,3 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup>	2,9 <sup>ns</sup> a	3,0 <sup>ns</sup> a
1600	3,0 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup>	3,0 <sup>ns</sup> a	3,0 <sup>ns</sup> a
Médias	3,1 a	3,0 a	2,9 a	2,9 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,3; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,6 CV (%) = 9,8; <b>W = 0,965</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,805; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,79</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,7; DMS <sub>Dunnett</sub> = 1,0 CV (%) = 16,7; <b>W = 0,909</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,114; F<sub>não-aditividade</sub> = 8,45</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Os teores de magnésio no solo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas (Tabela 14).

Tabela 14. Médias de magnésio no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	1,2		1,1	
400	1,1 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>
800	1,1 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>
1600	1,1 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>
Médias	1,1 a	1,2 a	1,0 a	1,0 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,2 CV (%) = 8,6; <b>W = 0,964</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,632; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,006</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,2; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,2 CV (%) = 11,5; <b>W = 0,956</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,455; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,889</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	1,0		0,8	
400	1,0 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>
800	1,0 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>
1600	1,0 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>
Médias	0,95 b	1,03 a	0,9 a	1,0 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,05; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,1 CV (%) = 6,2; <b>W = 0,946</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,489; F<sub>não-aditividade</sub> = 2,798</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,3 CV (%) = 14,1; <b>W = 0,931</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,918; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,001</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	0,8		0,7	
400	0,8 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>
800	0,8 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>
1600	0,8 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>
Médias	0,8 a	0,8 a	0,7 a	0,7 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,1 CV (%) = 7,8; <b>W = 0,972</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,891; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,002</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,3 CV (%) = 18,2; <b>W = 0,965</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,92; F<sub>não-aditividade</sub> = 3,638</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses aplicadas, também não foram apresentadas diferenças, com exceção da fazenda Avenida, na profundidade 15-30 cm, onde o silicato Holcim apresentou um maior teor de magnésio em relação ao Agrosilício. Esperava-se um aumento significativo nos teores de magnésio nas demais profundidades, uma vez que, os silicatos, de acordo com a Tabela 10, apresentaram altos teores de MgO (10,9 % e 7,1% para o Agrosilício e Holcim, respectivamente). Ramos et al. (2006), avaliando a capacidade dos silicatos em fornecer magnésio,

observaram que a aplicação de silicato de cálcio e magnésio aumentou a concentração de magnésio no solo até a profundidade de 25 cm, devido a alta concentração do produto (11% de MgO) e das altas doses aplicadas (1.915 e 3.830 kg ha<sup>-1</sup>), porém, neste experimento, a maior dose aplicada foi de 1.600 kg ha<sup>-1</sup> de silicato.

Nas duas fazendas avaliadas, os valores de magnésio estão nos níveis bons, na profundidade de 0-15 cm, médios e bons, na profundidade de 15-30 cm, e níveis médios, na profundidade 30-45 cm, segundo (CFSEMG, 1999).

Os teores de matéria orgânica do solo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas, ocorrendo o mesmo para os silicatos Agrosilício e Holcim (Tabela 15).

Na fazenda Avenida, os teores de matéria orgânica se encontraram em níveis bons, na profundidade 0-15 cm, e níveis médios, nas profundidades 15-30 e 30-45 cm. Na fazenda Vargem, os teores de matéria orgânica se encontraram em níveis médios, nas três profundidades avaliadas, segundo (CFSEMG, 1999).

De modo geral, observa-se um maior acúmulo de matéria orgânica no solo na camada superficial 0-15 cm, devido a cultura da cana-de-açúcar fornecer uma grande deposição de resíduos vegetais na cobertura do solo, principalmente em usinas em que a colheita é mecanizada, sem o uso de queima da cana. Outro fator que pode estar influenciando é que há fortes indícios, de acordo com Korndörfer (1999), de que o Si, particularmente em gramíneas, possui um papel importante na degradação da palhada, ou seja, quanto maior a concentração de Si no resíduo vegetal deixado sobre o solo (palhada), menor a velocidade de decomposição da mesma.

Tabela 15. Médias de matéria orgânica no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	----- dag kg <sup>-1</sup> -----		----- dag kg <sup>-1</sup> -----	
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	4,0		3,1	
400	4,0 <sup>ns</sup>	4,1 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup>	3,2 <sup>ns</sup>
800	4,2 <sup>ns</sup>	4,3 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup>	3,2 <sup>ns</sup>
1600	4,3 <sup>ns</sup>	4,3 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup>
Médias	4,2 a	4,2 a	3,1 a	3,2 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,1 CV (%) = 3,9; <b>W = 0,977</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,912; F<sub>não-aditividade</sub> = 2,092</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,2; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,5 CV (%) = 8,0; <b>W = 0,952</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,451; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,731</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	3,2		2,7	
400	3,5 <sup>ns</sup> a	3,4 <sup>ns</sup> a	2,7 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>
800	3,6 <sup>ns</sup> a	3,4 <sup>ns</sup> a	2,7 <sup>ns</sup>	3,0 <sup>ns</sup>
1600	3,6 <sup>ns</sup> a	3,5 <sup>ns</sup> a	2,8 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>
Médias	3,5 a	3,4 a	2,7 a	2,8 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,3; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,3 CV (%) = 5,0; <b>W = 0,95</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,918; F<sub>não-aditividade</sub> = 2,926</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,3; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,6 CV (%) = 10,9; <b>W = 0,927</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,957; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,039</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	2,2		2,3	
400	2,2 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	2,5 <sup>ns</sup>
800	2,3 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>
1600	2,3 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>
Médias	2,2 a	2,2 a	2,3 a	2,4 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,3 CV (%) = 7,3; <b>W = 0,955</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,77; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,631</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,2; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,5 CV (%) = 11,5; <b>W = 0,940</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,668; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,211</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

As diferentes doses dos silicatos (Agrosilício e Holcim) não apresentaram diferença na fazenda Vargem, ocorrendo o mesmo para o silicato Holcim na fazenda Avenida. Enquanto que, para o silicato Agrosilício na fazenda Avenida, à medida que as doses aumentaram, os teores de matéria orgânica do solo também tenderam a aumentar (Figura 2). O valor médio de matéria orgânica esperado foi de 3,32 dag kg<sup>-1</sup>. E as taxas de incremento em matéria orgânica para cada kg ha<sup>-1</sup> do silicato Agrosilício aplicado foi de 0,0002 dag kg<sup>-1</sup>.

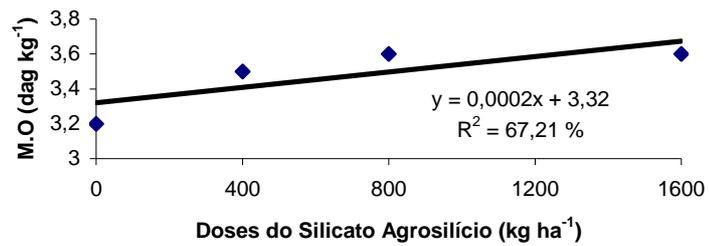


Figura 2. Matéria orgânica no solo na profundidade 15-30 cm, em resposta a diferentes doses do silicato Agrosilício, Fazenda Avenida, Guaíra - SP, 2009

#### 4.1.2 Micronutrientes

Os teores de cobre no solo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas (Tabela 16). Para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e também para as doses dos silicatos, não foram apresentadas diferenças.

De acordo com os teores de cobre no solo considerados referência pela CFSEMG (1999), concentrações acima de  $1,8 \text{ mg dm}^{-3}$  são consideradas elevadas. Em todos os tratamentos, inclusive na testemunha, observou-se teor acima deste valor. Porém, de acordo com os valores orientadores da CETESB (2005) e CONAMA (2009), um solo com até  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  é referência de qualidade e com  $60 \text{ mg kg}^{-1}$  deve se fazer a prevenção. As variações observadas entre as tabelas de referência deixam dúvidas sobre qual teor no solo deve ser considerado como adequado. O fato é que o teor máximo no solo desse experimento é de  $6,8 \text{ mg dm}^{-3}$ , representando 378% superior ao recomendado pela CFSEMG e 81% inferior ao limite de prevenção sugerido pela CETESB (2005) e CONAMA (2009).

Outro fator que pode ser observado é que nas três profundidades avaliadas o cobre manteve-se constante. A imobilidade do cobre também foi observada por Dowdy et al. (1991), em experimentos de campo, com a aplicação de elevadas doses de lodo de esgoto, monitorados por períodos de respectivamente 14 e 12 anos.

Tabela 16. Médias de cobre no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guairá - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----	
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	6,3		6,1	
400	5,4 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>	6,3 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>
800	6,0 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	5,9 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>
1600	6,3 <sup>ns</sup>	5,9 <sup>ns</sup>	5,9 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>
Médias	5,9 a	5,7 a	6,0 a	5,5 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,6; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 1,4 CV (%) = 12,1; <b>W = 0,964</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,039; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,008</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,7; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 1,5 CV (%) = 13,2; <b>W = 0,966</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,067; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,54</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	6,0		6,8	
400	5,7 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	6,6 <sup>ns</sup>	6,1 <sup>ns</sup>
800	6,1 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>	6,1 <sup>ns</sup>
1600	6,1 <sup>ns</sup>	6,1 <sup>ns</sup>	6,4 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>
Médias	5,9 a	5,8 a	6,2 a	5,9 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,3; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 0,8 CV (%) = 6,8; <b>W = 0,956</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,6; F<sub>não-aditividade</sub> = 5,955</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,6; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 1,4 CV (%) = 11,7; <b>W = 0,967</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,337; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,288</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	5,6		6,6	
400	5,3 <sup>ns</sup>	5,8 <sup>ns</sup>	6,4 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>
800	5,4 <sup>ns</sup>	5,0 <sup>ns</sup>	6,4 <sup>ns</sup>	6,3 <sup>ns</sup>
1600	5,6 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	6,2 <sup>ns</sup>
Médias	5,4 a	5,4 a	6,2 a	6,1 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,4; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 0,9 CV (%) = 8,6; <b>W = 0,978</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,955; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,152</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,7; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 1,7 CV (%) = 13,4; <b>W = 0,944</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,296; F<sub>não-aditividade</sub> = 2,986</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Os teores de ferro (Fe) no solo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas, com exceção da dose de 800 kg ha<sup>-1</sup> do silicato Agrosilício na profundidade de 15-30 cm na fazenda Vargem, na qual, o teor de ferro foi inferior (Tabela 17).

Para a fazenda Avenida, na profundidade de 0-15 cm, observa-se que ocorreu diferença no teor de ferro no solo, o mesmo foi maior no silicato Holcim (41,8 mg kg<sup>-1</sup>) na dose de 1600 kg ha<sup>-1</sup>, em relação ao silicato Agrosilício (31,5 mg kg<sup>-1</sup>). Para as demais doses (400 e 800 kg ha<sup>-1</sup>), não foi apresentada diferença entre os silicatos

(Tabela 17). Já para as doses dos silicatos, não foram observadas diferenças entre as mesmas, nas três profundidades avaliadas e nas duas fazendas.

De acordo com os teores de Fe no solo considerados referência (31- 45 mg kg<sup>-1</sup>) pela CFSEMG (1999), as concentrações estão adequadas em todos os tratamentos, inclusive na testemunha. Os teores de Fe disponíveis no solo, encontrados por Souza; Lobato (2004), variaram de 20 mg dm<sup>-3</sup> a 60 mg dm<sup>-3</sup>, sugerindo que os valores obtidos nas diferentes profundidades podem ser considerados normais e aceitáveis em solos de áreas de cultivos agrícolas.

Segundo Oliveira (2006), um fator que se deve considerar é a classificação do solo estudado, pertencente à classe Latossolo. Uma das características básicas desse tipo de solo é ter alto teor de ferro na forma de óxidos, principalmente a hematita e a goetita, que justificam, de maneira geral, esses teores de ferro nos tratamentos.

Tabela 17. Médias de ferro no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaiá - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----	
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	35,3		23,0	
400	38,0 <sup>ns</sup> a	30,8 <sup>ns</sup> a	23,8 <sup>ns</sup>	22,0 <sup>ns</sup>
800	34,5 <sup>ns</sup> a	41,5 <sup>ns</sup> a	20,3 <sup>ns</sup>	21,0 <sup>ns</sup>
1600	31,5 <sup>ns</sup> b	41,8 <sup>ns</sup> a	21,8 <sup>ns</sup>	19,8 <sup>ns</sup>
Médias	34,7	38,0	21,9 a	20,9 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 9,6; DMS <sub>Dunnett</sub> = 13,0 CV (%) = 17,9; <b>W = 0,985</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,534; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,104</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 2,5; DMS <sub>Dunnett</sub> = 5,8 CV (%) = 13,3; <b>W = 0,981</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 3,147; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,166</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	18,3		24,5	
400	21,8 <sup>ns</sup>	20,0 <sup>ns</sup>	23,5 <sup>ns</sup>	21,8 <sup>ns</sup>
800	21,5 <sup>ns</sup>	18,0 <sup>ns</sup>	18,0*	21,8 <sup>ns</sup>
1600	22,5 <sup>ns</sup>	21,3 <sup>ns</sup>	22,5 <sup>ns</sup>	19,0 <sup>ns</sup>
Médias	21,9 a	19,8 a	21,3 a	20,8 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 2,8; DMS <sub>Dunnett</sub> = 6,6 CV (%) = 16,2; <b>W = 0,916</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,675; F<sub>não-aditividade</sub> = 5,78</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 2,7; DMS <sub>Dunnett</sub> = 6,4 CV (%) = 14,8; <b>W = 0,965</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 7,395; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,069</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	13,0		22,5	
400	12,5 <sup>ns</sup>	14,0 <sup>ns</sup>	22,3 <sup>ns</sup>	19,5 <sup>ns</sup>
800	13,8 <sup>ns</sup>	11,3 <sup>ns</sup>	20,0 <sup>ns</sup>	21,0 <sup>ns</sup>
1600	13,5 <sup>ns</sup>	13,0 <sup>ns</sup>	20,0 <sup>ns</sup>	20,3 <sup>ns</sup>
Médias	13,3 a	12,8 a	20,8 a	20,3 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 1,5; DMS <sub>Dunnett</sub> = 3,5 CV (%) = 13,3; <b>W = 0,948</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,445; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,049</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 2,6; DMS <sub>Dunnett</sub> = 6,1 CV (%) = 14,6; <b>W = 0,957</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,993; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,933</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Os teores de zinco no solo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas (Tabela 18). Também não foram apresentadas diferenças para os silicatos (Agrosilício e Holcim).

Tabela 18. Médias de zinco no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaiá - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----	
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	0,7		0,7	
400	0,7 <sup>ns</sup>	0,6 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>
800	0,6 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	0,6 <sup>ns</sup>
1600	0,7 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	0,6 <sup>ns</sup>	0,6 <sup>ns</sup>
Médias	0,7 a	0,6 a	0,7 a	0,6 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,2 CV (%) = 17,0; <b>W = 0,969</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,125; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,086</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,1 CV (%) = 11,2; <b>W = 0,935</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,692; F<sub>não-aditividade</sub> = 10,888</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	0,4		0,4	
400	0,4 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>
800	0,4 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>
1600	0,5 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>
Médias	0,4 a	0,5 a	0,4 a	0,3 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,2 CV (%) = 24,7; <b>W = 0,922</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,007; F<sub>não-aditividade</sub> = 3,479</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,1 CV (%) = 16,6; <b>W = 0,956</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,65; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,192</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	0,2		0,3	
400	0,2 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>
800	0,2 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>
1600	0,2 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>
Médias	0,2 a	0,2 a	0,2 a	0,2 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,04; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,1 CV (%) = 19,9; W = 0,717 <b>F<sub>Levene</sub> = 3,136; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,026</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,1 CV (%) = 27,5; W = 0,749 <b>F<sub>Levene</sub> = 1,167; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,904</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

De acordo com os teores de zinco no solo considerados referência pela CFSEMG (1999), concentrações acima de 2,2 mg dm<sup>-3</sup> são consideradas elevadas. Em todos os tratamentos, inclusive na testemunha, observou-se teores abaixo deste valor. Já de acordo, com os valores orientadores da CETESB (2005) e CONAMA (2009) um solo com até 60 mg kg<sup>-1</sup> é referência de qualidade e com 300 mg kg<sup>-1</sup> deve se fazer a prevenção. Sendo assim, com esses teores de zinco, estes solos não apresentam problemas de contaminação com este elemento.

As doses dos silicatos na fazenda Vargem apresentaram diferenças nos teores de zinco no solo, na profundidade 15-30 cm, ou seja, na profundidade em que foram aplicados os silicatos (Figura 3). Nas demais profundidades e em todas as profundidades na fazenda Avenida, não foram apresentadas diferenças entre as doses dos silicatos. À medida que as doses dos silicatos (Agrosilício e Holcim) aumentaram, os teores de zinco do solo tenderam a reduzir (Figura 3). O valor médio de zinco esperado foi de  $0,46 \text{ mg kg}^{-1}$ . E as taxas de redução nos teores de zinco para cada  $\text{kg ha}^{-1}$  dos silicatos aplicados foi de  $0,0001 \text{ mg kg}^{-1}$ . Paim et al. (2006), estudando os efeitos do silício e fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração, concluíram que as doses crescentes de silício (0, 2.340, 6.040, 9.860 e  $13.660 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si) e fósforo (0, 90, 180, 360 e  $720 \text{ mg dm}^{-3}$  de P) reduziram os teores de Cd, Pb, Cu e Zn em solo contaminado, e ainda a ação do silício deveu-se ao poder alcalinizante do silicato de cálcio e a sua capacidade de formar silicatos insolúveis.

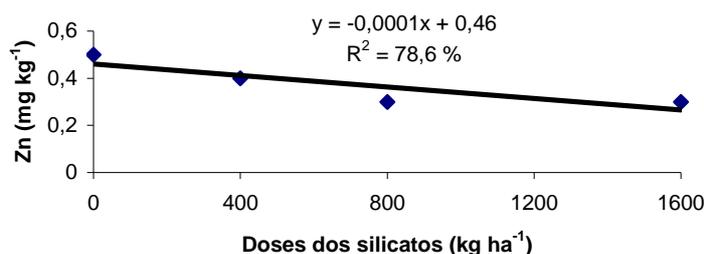


Figura 3. Zinco no solo, na profundidade (15-30 cm), em resposta a diferentes doses dos silicatos (Agrosilício e Holcim), Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Os teores de manganês no solo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas (Tabela 19). Também não foram apresentadas diferenças para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos. Com exceção da profundidade 15-30 cm, na fazenda Vargem, em que o Agrosilício apresentou maiores teores de manganês do que o silicato Holcim. Este resultado está coerente, porque os silicatos foram aplicados nessa profundidade e o Agrosilício apresentou maiores teores de manganês em sua composição ( $8.300 \text{ mg kg}^{-1}$ ), enquanto no Holcim os teores foram menores ( $5.850 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Tabela 19. Médias de manganês no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----	
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	35,8		13,8	
400	39,9 <sup>ns</sup>	35,6 <sup>ns</sup>	15,3 <sup>ns</sup>	14,4 <sup>ns</sup>
800	36,5 <sup>ns</sup>	37,8 <sup>ns</sup>	18,0 <sup>ns</sup>	13,8 <sup>ns</sup>
1600	32,1 <sup>ns</sup>	38,3 <sup>ns</sup>	14,9 <sup>ns</sup>	14,6 <sup>ns</sup>
Médias	36,1 a	37,2 a	16,0 a	14,3 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 3,5; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 8,1 CV (%) = 11,1; <b>W = 0,969</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,964; F<sub>não-aditividade</sub> = 2,46</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 1,8; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 4,2 CV (%) = 14,1; <b>W = 0,963</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,394; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,266</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	23,1		11,7	
400	25,7 <sup>ns</sup>	22,4 <sup>ns</sup>	12,9 <sup>ns</sup>	10,2 <sup>ns</sup>
800	24,5 <sup>ns</sup>	22,8 <sup>ns</sup>	14,3 <sup>ns</sup>	13,3 <sup>ns</sup>
1600	27,0 <sup>ns</sup>	24,3 <sup>ns</sup>	13,3 <sup>ns</sup>	11,3 <sup>ns</sup>
Médias	25,7 a	23,2 a	13,5 a	11,6 b
	DMS <sub>Fonte</sub> = 5,1; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 8,0 CV (%) = 16,5; <b>W = 0,974</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,203; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,019</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 1,86; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 4,3 CV (%) = 17,5; <b>W = 0,975</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,784; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,94</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	15,1		9,4	
400	14,2 <sup>ns</sup>	12,5 <sup>ns</sup>	8,8 <sup>ns</sup>	7,1 <sup>ns</sup>
800	15,9 <sup>ns</sup>	13,0 <sup>ns</sup>	11,1 <sup>ns</sup>	8,7 <sup>ns</sup>
1600	13,0 <sup>ns</sup>	14,0 <sup>ns</sup>	8,6 <sup>ns</sup>	9,4 <sup>ns</sup>
Médias	14,4 a	13,2 a	9,5 a	8,4 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 2,5; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 5,9 CV (%) = 21,0; <b>W = 0,916</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,438; F<sub>não-aditividade</sub> = 5,973</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 1,5; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 3,6 CV (%) = 19,9; <b>W = 0,972</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,464; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,704</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

De modo geral, em todos os tratamentos os teores de manganês no solo estão elevados (> 12 mg dm<sup>-3</sup>), segundo (CFSEMG, 1999). Conforme citado por Souza; Lobato (2004), dentro da faixa de 1,9 mg dm<sup>-3</sup> a 5,0 mg dm<sup>-3</sup>, o Mn não é considerado tóxico.

Sousa; Lobato (2004) observaram, que no caso do manganês, obteve-se 90,77; 7,69 e 1,54 % das amostras de solo com teores baixos (Mn < 1,9 mg kg<sup>-1</sup>), médios (2 < Mn < 5 mg kg<sup>-1</sup>) e altos (Mn > 5 mg kg<sup>-1</sup>), respectivamente. Chaves; Farias (2009)

observaram, que o Cu e o Mn, normalmente, encontram-se em níveis muito baixos em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, o que não ocorreu neste experimento.

Os teores de silício no solo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas (Tabela 20).

Tabela 20. Médias de silício no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----	
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	11,1		9,0	
400	10,3 <sup>ns</sup>	9,6 <sup>ns</sup>	9,4 <sup>ns</sup>	8,0 <sup>ns</sup>
800	10,3 <sup>ns</sup>	11,0 <sup>ns</sup>	8,8 <sup>ns</sup>	7,5 <sup>ns</sup>
1600	9,8 <sup>ns</sup>	10,4 <sup>ns</sup>	8,8 <sup>ns</sup>	7,1 <sup>ns</sup>
Médias	10,1 a	10,3 a	9,0 a	7,5 b
	DMS <sub>Fonte</sub> = 1,2; DMS <sub>Dunnett</sub> = 2,8 CV (%) = 13,5; <b>W = 0,959</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,614; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,056</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 1,4; DMS <sub>Dunnett</sub> = 3,2 CV (%) = 19,0; <b>W = 0,972</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 3,732; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,522</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	8,3		9,0	
400	8,0 <sup>ns</sup>	8,3 <sup>ns</sup>	8,7 <sup>ns</sup>	8,0 <sup>ns</sup>
800	8,8 <sup>ns</sup>	8,8 <sup>ns</sup>	6,6 <sup>ns</sup>	8,5 <sup>ns</sup>
1600	8,0 <sup>ns</sup>	9,1 <sup>ns</sup>	8,6 <sup>ns</sup>	6,5 <sup>ns</sup>
Médias	8,3 a	8,7 a	8,0 a	7,7 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 1,0; DMS <sub>Dunnett</sub> = 2,3 CV (%) = 13,3; <b>W = 0,933</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,419; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,088</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 1,4; DMS <sub>Dunnett</sub> = 3,2 CV (%) = 19,7; <b>W = 0,97</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 3,246; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,036</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	7,9		8,5	
400	6,6 <sup>ns</sup>	7,2 <sup>ns</sup>	8,1 <sup>ns</sup>	6,9 <sup>ns</sup>
800	8,1 <sup>ns</sup>	7,7 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>	7,0 <sup>ns</sup>
1600	7,0 <sup>ns</sup>	7,6 <sup>ns</sup>	7,9 <sup>ns</sup>	7,3 <sup>ns</sup>
Médias	7,2 a	7,5 a	7,9 a	7,1 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 0,9; DMS <sub>Dunnett</sub> = 2,0 CV (%) = 13,7; <b>W = 0,977</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,148; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,461</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 1,3; DMS <sub>Dunnett</sub> = 3,1 CV (%) = 20,1; <b>W = 0,952</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,715; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,27</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Também não foram apresentadas diferenças para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos. Com exceção da profundidade 0-15 cm, na fazenda Vargem, em que o Agrosilício apresentou maiores teores de silício do que o silicato Holcim. O maior teor de silício era esperado, uma vez que o Agrosilício

apresentou maiores teores de silício solúvel em sua composição ( $3,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), enquanto no Holcim os teores foram menores ( $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ), ou seja, 78% menos silício solúvel do que o silicato referência (Agrosilício). No entanto, esperavam-se alterações nas demais profundidades e na Fazenda Avenida.

Os silicatos foram aplicados no sulco de plantio, ou seja, na profundidade de 15 a 30 cm, e nesta profundidade não ocorreu aumento no teor de silício. Korndörfer et al. (1999) observaram que, em todos os solos estudados, houve um incremento nas quantidades de Si "disponível", com a aplicação das doses de silicato de cálcio.

A influência na redução do efeito do silício com a aplicação dos silicatos pode ter sido devido, nas concentrações determinadas no solo, os teores de silício já estarem próximos ao nível crítico. Segundo Korndörfer et al. (1999), o nível crítico de alguns solos estudados estão próximos do valor  $9,8 \text{ mg dm}^{-3}$  e, segundo Snyder (1991), solos com teores de silício inferiores a  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  deveriam receber adubação com silício para obtenção de rendimentos máximos, enquanto que, solos com teores iguais ou superiores a  $15 \text{ mg dm}^{-3}$  não necessitariam de aplicação desse elemento.

### 4.1.3 Metais pesados

Apesar de ter sido detectado nos silicatos aplicados a presença de metais pesados (Tabela 11), é comum a preocupação de que, com a aplicação desses silicatos, estes poderiam ser carreadores de metais pesados para o solo, causando a contaminação do mesmo, o que não ocorreu neste experimento.

Os teores de cádmio (Cd) e cromo (Cr) no solo, nas três profundidades e nas duas fazendas, não foram detectados. Esse comportamento não era esperado, uma vez que foram detectados esses elementos nos silicatos aplicados (Tabela 11).

Fernandes et al. (2007), avaliando os teores de metais pesados extraídos com DTPA em solos agrícolas provenientes de áreas olerícolas do estado de Minas Gerais, observaram que os elementos Cd, Cr e Ni exibiram valores desprezíveis de disponibilidade, com índices próximos a zero. Já o Cu, Pb e Zn indicaram percentuais disponíveis mais expressivos em relação aos teores totais estimados. Esses resultados diferem um pouco daqueles apresentados por Gomes et al. (2001) e Fontes; Gomes (2003) apud Fernandes et al. (2007) que, estudando adsorção competitiva, constataram que Cu e Pb seriam extremamente retidos pelo solo, enquanto Cd e Ni não o seriam. Já os elementos Cr e Zn se comportaram de acordo com o observado nesses estudos.

Cunha; Nascimento; Silva (2008) observaram que a alteração do pH do solo não foi o fator mais importante na redução da biodisponibilidade de Cd e Zn, após o tratamento com silicatos no solo contaminado. Esses autores verificaram reduções significativas dos teores biodisponíveis dos metais, após adição de doses crescentes de Si, mesmo não havendo alterações significativas do pH do solo. A maior dose adicionada ao solo foi de 200 mg kg<sup>-1</sup> de Si, o que resultou na redução de cerca de 24 e 41% nas disponibilidades de Cd e Zn, respectivamente. Nesse caso, a redução da biodisponibilidade pode ser resultado da precipitação de metais na forma de silicatos, que ocorre independentemente da alteração do pH do solo (Dietzel, 2000; Sommer et al., 2006).

Korndörfer; Pereira; Camargo (2004), avaliando alguns metais presentes no silicato agrosilício e em calcários comerciais encontraram, no silicato teores menores que nos calcários, sendo o teor de Ni de 1 mg kg<sup>-1</sup>; de Cd de 0,05 mg kg<sup>-1</sup>; de Pb 0,09 mg kg<sup>-1</sup>; de Cr 0,5 mg kg<sup>-1</sup>; de Mn de 5 mg kg<sup>-1</sup> e de Cu 0,6 mg kg<sup>-1</sup>. Enquanto, nos calcários, as concentrações variaram, em média, no teor de Ni, de 8 a 19 mg kg<sup>-1</sup>; de Cd, de 2,3 a 3,2 mg kg<sup>-1</sup>; de Pb, de 23 a 27 mg kg<sup>-1</sup>; de Cr, de 0,3 a 0,6 mg kg<sup>-1</sup>; de Mn, de

53 a 221 mg kg<sup>-1</sup> e de Cu, de 2,5 a 11 mg kg<sup>-1</sup>. Esses dados indicam que deve-se realizar sempre o monitoramento das fontes de corretivos aplicadas, pois muitas vezes elas poderão incorporar metais pesados ao sistema e causar problemas para a produção agropecuária.

Tabela 21. Médias de níquel no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	-----µg kg <sup>-1</sup> -----		-----µg kg <sup>-1</sup> -----	
	Profundidade 0-15 cm		Profundidade 0-15 cm	
0	70,8		22,5	
400	66,0 <sup>ns</sup>	56,0 <sup>ns</sup>	18,8 <sup>ns</sup>	22,8 <sup>ns</sup>
800	58,3 <sup>ns</sup>	71,8 <sup>ns</sup>	18,0 <sup>ns</sup>	17,8 <sup>ns</sup>
1600	55,8 <sup>ns</sup>	64,3 <sup>ns</sup>	20,5 <sup>ns</sup>	19,0 <sup>ns</sup>
Médias	60,0 a	64,0 a	19,1 a	19,8 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 10,6; DMS <sub>Dunnett</sub> = 24,7 CV (%) = 19,5; <b>W = 0,983</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,579; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,134</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 8,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 18,9 CV (%) = 47,5; <b>W = 0,981</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,066 ; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,425</b>	
	Profundidade 15-30 cm		Profundidade 15-30 cm	
0	44,0		23,0	
400	59,3 <sup>ns</sup>	44,5 <sup>ns</sup>	18,8 <sup>ns</sup>	20,5 <sup>ns</sup>
800	47,5 <sup>ns</sup>	50,3 <sup>ns</sup>	18,3 <sup>ns</sup>	21,0 <sup>ns</sup>
1600	53,8 <sup>ns</sup>	48,5 <sup>ns</sup>	16,8 <sup>ns</sup>	15,3 <sup>ns</sup>
Médias	53,5 a	47,8 a	16,3 a	18,9 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 11,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 26,0 CV (%) = 26,1; <b>W = 0,935</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,747; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,574</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 11,3; DMS <sub>Dunnett</sub> = 17,8 CV (%) = 48,4; <b>W = 0,946</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,909; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,178</b>	
	Profundidade 30-45 cm		Profundidade 30-45 cm	
0	24,8		22,8	
400	25,8 <sup>ns</sup>	30,3 <sup>ns</sup>	13,5 <sup>ns</sup>	13,0 <sup>ns</sup>
800	26,5 <sup>ns</sup>	25,8 <sup>ns</sup>	16,5 <sup>ns</sup>	21,3 <sup>ns</sup>
1600	22,5 <sup>ns</sup>	28,5 <sup>ns</sup>	17,5 <sup>ns</sup>	16,5 <sup>ns</sup>
Médias	24,9 a	28,2 a	15,8 a	16,9 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 9,6; DMS <sub>Dunnett</sub> = 22,4 CV (%) = 42,7; <b>W = 0,956</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,22; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,969</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 6,5; DMS <sub>Dunnett</sub> = 15,2 CV (%) = 43,8; <b>W = 0,922</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,068; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,026</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Os teores de níquel (Ni) no solo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas

(Tabela 21). Também não foram apresentadas diferenças nos teores de níquel para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Os teores de níquel no solo, nas duas fazendas e nas três profundidades avaliadas se encontram abaixo dos níveis de referência de qualidade ( $13 \text{ mg kg}^{-1}$ ), de acordo com a CETESB (2005). Já o nível de prevenção é  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  (CETESB, 2005; CONAMA, 2009). Assim, com esses teores de níquel no solo não são apresentados problemas de contaminação do mesmo.

Os teores de chumbo (Pb) no solo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas (Tabela 22). Também não foram apresentadas diferenças nos teores de chumbo para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Marques et al. (2002) fizeram um levantamento em 45 solos da região do cerrado, encontrando teores médios de chumbo iguais a  $10 \pm 5 \text{ mg kg}^{-1}$ . Já Campos et al. (2003) obtiveram valores médios de  $22 \text{ mg kg}^{-1}$  de chumbo em diversos Latossolos avaliados.

Tabela 22. Médias de chumbo no solo em diferentes profundidades, fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
-----µg kg <sup>-1</sup> -----				
Profundidade 0-15 cm			Profundidade 0-15 cm	
0	534,8		387,5	
400	562,5 <sup>ns</sup>	425,8 <sup>ns</sup>	364,8 <sup>ns</sup>	373,8 <sup>ns</sup>
800	523,0 <sup>ns</sup>	537,3 <sup>ns</sup>	342,3 <sup>ns</sup>	360,3 <sup>ns</sup>
1600	447,8 <sup>ns</sup>	502,8 <sup>ns</sup>	418,8 <sup>ns</sup>	397,8 <sup>ns</sup>
Médias	511,1 a	488,6 a	375,3 a	377,3 a
DMS <sub>Fonte</sub> = 70,8; DMS <sub>Dunnett</sub> = 165,4 CV (%) = 16,4; <b>W = 0,968</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,59; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,006</b>			DMS <sub>Fonte</sub> = 71,6; DMS <sub>Dunnett</sub> = 167,2 CV (%) = 22,1; <b>W = 0,969</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,652; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,221</b>	
Profundidade 15-30 cm			Profundidade 15-30 cm	
0	467,8		389,0	
400	427,8 <sup>ns</sup>	440,5 <sup>ns</sup>	394,5 <sup>ns</sup>	372,8 <sup>ns</sup>
800	400,3 <sup>ns</sup>	370,5 <sup>ns</sup>	326,3 <sup>ns</sup>	333,8 <sup>ns</sup>
1600	402,8 <sup>ns</sup>	410,5 <sup>ns</sup>	398,8 <sup>ns</sup>	314,5 <sup>ns</sup>
Médias	410,3 a	407,2 a	373,2 a	340,3 a
DMS <sub>Fonte</sub> = 64,0; DMS <sub>Dunnett</sub> = 149,4 CV (%) = 17,9; <b>W = 0,968</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,59; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,128</b>			DMS <sub>Fonte</sub> = 58,2; DMS <sub>Dunnett</sub> = 135,9 CV (%) = 18,8; <b>W = 0,96</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,264; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,84</b>	
Profundidade 30-45 cm			Profundidade 30-45 cm	
0	363,0		396,0	
400	385,3 <sup>ns</sup>	331,5 <sup>ns</sup>	405,8 <sup>ns</sup>	356,8 <sup>ns</sup>
800	326,3 <sup>ns</sup>	342,3 <sup>ns</sup>	266,8 <sup>ns</sup>	379,0 <sup>ns</sup>
1600	284,5 <sup>ns</sup>	310,3 <sup>ns</sup>	384,0 <sup>ns</sup>	335,3 <sup>ns</sup>
Médias	332,0 a	328,0 a	352,2 a	357,0 a
DMS <sub>Fonte</sub> = 76,9; DMS <sub>Dunnett</sub> = 179,4 CV (%) = 26,8; <b>W = 0,976</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,891; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,007</b>			DMS <sub>Fonte</sub> = 68,8; DMS <sub>Dunnett</sub> = 160,3 CV (%) = 22,3; <b>W = 0,973</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,662; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,01</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Os resultados encontrados neste experimento mostram que os teores de chumbo no solo encontram-se abaixo dos níveis de referência, que são de 17 mg kg<sup>-1</sup>, segundo CETESB (2005). Enquanto o nível de prevenção é de 72 mg kg<sup>-1</sup> (CETESB, 2005; CONAMA, 2009). Com esses teores de chumbo no solo, não são apresentados problemas de contaminação do solo.

## 4.2 Análises foliares

### 4.2.1 Micronutrientes

Os teores de cobre (Cu) foliar não apresentaram diferença em relação a testemunha (ausência de silicato), nas duas fazendas avaliadas (Tabela 23). Também não foram apresentadas diferenças nos teores de cobre para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Os mesmos se encontraram abaixo dos níveis recomendados para a cultura da cana-de-açúcar, ou seja, 6-15 mg kg<sup>-1</sup>, segundo (RAIJ et al., 1996).

Tabela 23. Médias de cobre na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Dose dos Silicatos (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida <sup>1</sup>		Fazenda Vargem <sup>2</sup>	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----		-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
0		3,0		4,3
400	2,3 <sup>ns</sup>	2,5 <sup>ns</sup>	3,8 <sup>ns</sup>	4,0 <sup>ns</sup>
800	2,5 <sup>ns</sup>	1,8 <sup>ns</sup>	2,5 <sup>ns</sup>	3,8 <sup>ns</sup>
1600	3,8 <sup>ns</sup>	2,5 <sup>ns</sup>	3,8 <sup>ns</sup>	3,3 <sup>ns</sup>
Médias	2,8 a	2,3 a	3,3 a	3,7 a
DMS <sub>Fonte</sub> = 0,8; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 1,9		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,8; DMS <sub>Dunnnett</sub> = 1,8		
CV (%) = 36,8; <b>W = 0,958</b>		CV (%) = 25,0; <b>W = 0,978</b>		
<b>F<sub>Levene</sub> = 0,778; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,282</b>		<b>F<sub>Levene</sub> = 0,607; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,216</b>		

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Segundo Orlando Filho et al. (1994), cobre e zinco são os micronutrientes mais limitantes para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil. Essa mesma afirmativa também foi observada por Reis Junior; Monnerat (2002) que, avaliando 126 amostras foliares de cana-de-açúcar na região de Campos dos Goytacazes – RJ, observaram deficiência de zinco em 99,2% e de cobre em 98,4%.

Madeiros; Vieira; Aquino (2009), avaliando o efeito da aplicação de escória de siderurgia em duas variedades de cana-de-açúcar, também não observaram aumento do teor foliar de Cu em função das doses de escória de siderurgia, sendo o teor médio observado de 7,5 mg kg<sup>-1</sup>, superior ao observado neste experimento.

Os teores de ferro (Fe) foliar não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas duas fazendas avaliadas (Tabela 24). Também não foram apresentadas diferenças nos teores de ferro, para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Quanto aos teores foliares de ferro, observa-se que os mesmos estão muito acima (443,7 – 448,3 mg kg<sup>-1</sup>), na fazenda Avenida e (584,1 – 682,7 mg kg<sup>-1</sup>) na fazenda Vargem, dos teores indicados para a cultura da cana-de-açúcar: 40- 250 mg kg<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 1996). Pode-se atribuir esses teores acima da média à presença de ferro nas escórias que, de acordo com a tabela 13, apresentaram altos valores.

Madeiros; Vieira; Aquino (2009), observaram redução nos teores foliares de ferro em função do aumento da dose de silício, e atribuíram esse fato ao aumento de pH propiciado pelo uso de escória, o que não foi observado neste experimento.

Tabela 24. Médias de ferro na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Dose dos Silicatos (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----		-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
0	440,3		748,8	
400	427,5 <sup>ns</sup>	466,3 <sup>ns</sup>	697,5 <sup>ns</sup>	577,3 <sup>ns</sup>
800	451,0 <sup>ns</sup>	391,0 <sup>ns</sup>	775,3 <sup>ns</sup>	578,8 <sup>ns</sup>
1600	452,0 <sup>ns</sup>	487,8 <sup>ns</sup>	575,3 <sup>ns</sup>	596,3 <sup>ns</sup>
Médias	443,7 a	448,3 a	682,7 a	584,1 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 48,7; DMS <sub>Dunnett</sub> = 113,6		DMS <sub>Fonte</sub> = 178,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 279,2	
	CV (%) = 12,7; <b>W = 0,958;</b>		CV (%) = 21,5; <b>W = 0,969;</b>	
	<b>F<sub>Levene</sub> = 1,142; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,04.</b>		<b>F<sub>Levene</sub> = 1,429; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,256.</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Os teores de manganês (Mn) não apresentaram diferença em relação à testemunha, nas duas fazendas avaliadas (Tabela 25). Também não foram apresentadas diferenças nos teores de manganês, para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Madeiros; Vieira; Aquino (2009), observaram aumento nos teores foliares de manganês em função do aumento das doses de escoria siderúrgica aplicadas para a

variedade SP791011, enquanto para a variedade RB72454 não foi observada diferença, e atribuiu-se esse fato a eficiência de utilização e absorção pelas variedades.

Tabela 25. Médias de manganês na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Dose dos Silicatos (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----		-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
0	80,5		49,0	
400	76,5 <sup>ns</sup>	79,3 <sup>ns</sup>	56,3 <sup>ns</sup>	48,8 <sup>ns</sup>
800	80,3 <sup>ns</sup>	74,5 <sup>ns</sup>	47,3 <sup>ns</sup>	40,5 <sup>ns</sup>
1600	88,8 <sup>ns</sup>	82,5 <sup>ns</sup>	47,8 <sup>ns</sup>	42,5 <sup>ns</sup>
Médias	81,8 a	77,8 a	50,4 a	43,9 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 10,9; DMS <sub>Dunnett</sub> = 5,4 CV (%) = 15,8; <b>W = 0,965</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,47; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,146</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 8,4 ; DMS <sub>Dunnett</sub> = 19,7 CV (%) = 20,7; <b>W = 0,965</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,61 ; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,794</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

**Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.**

Quanto aos teores de manganês foliar, os mesmos se encontraram em uma faixa adequada (40,5 - 88,8 mg kg<sup>-1</sup>) para a cultura da cana-de-açúcar, nas duas fazendas, segundo Raij et al. (1996), indicando teores para a cultura da cana-de-açúcar de 25-250 mg kg<sup>-1</sup>.

Na fazenda Avenida e fazenda Vargem, os teores foliares de manganês obtidos ficaram abaixo da faixa de 100 a 250 mg kg<sup>-1</sup>, considerada adequada por Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997). E ainda, permaneceram dentro do teor médio de 74,4 mg kg<sup>-1</sup> para cana de alta produtividade, obtido por Reis Jr.; Monnerat (2002), na fazenda Avenida, enquanto na fazenda Vargem foram apresentados valores inferiores. O teor de manganês nos silicatos (Tabela 11) encontrou-se alto, ou seja, era esperado aumento de manganês em função da aplicação dos silicatos.

Os teores de zinco não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas duas fazendas avaliadas (Tabela 26). Também não foram apresentadas diferenças nos teores de zinco, para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Madeiros; Vieira; Aquino (2009) não observaram diferenças nos teores foliares de zinco em função do aumento das doses de escória aplicadas, resultados semelhantes aos encontrados neste experimento.

Os teores foliares de zinco estão em níveis recomendados para a cultura da cana-de-açúcar, 10-50 mg kg<sup>-1</sup>, segundo (RAIJ et al., 1996), e foram similares aos relatados por Reis Jr.; Monnerat (2002): 14,3 mg kg<sup>-1</sup>, para cana de alta produtividade.

Tabela 26. Médias de zinco na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Dose dos Silicatos (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----		-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
0	14,0		16,8	
400	14,8 <sup>ns</sup>	15,3 <sup>ns</sup>	16,3 <sup>ns</sup>	14,5 <sup>ns</sup>
800	13,8 <sup>ns</sup>	14,3 <sup>ns</sup>	15,3 <sup>ns</sup>	16,0 <sup>ns</sup>
1600	14,5 <sup>ns</sup>	13,5 <sup>ns</sup>	14,3 <sup>ns</sup>	16,0 <sup>ns</sup>
Médias	14,3 a	14,3 a	15,3 a	15,5 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 1,5; DMS <sub>Dunnett</sub> = 3,5 CV (%) = 12,5; <b>W = 0,967</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,081; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,142</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 2,3 ; DMS <sub>Dunnett</sub> = 5,3 CV (%) = 16,9; <b>W = 0,968</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 0,88; F<sub>não-aditividade</sub> = 2,753</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Os teores de silício (Si) não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas duas fazendas avaliadas (Tabela 27). Também não foram apresentadas diferenças nos teores de zinco, para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Os teores de silício foliar se encontraram em uma faixa adequada para a cultura da cana-de-açúcar, nas duas fazendas, visto, de acordo com Korndörfer; Pereira; Camargo (2002), os teores indicados para a cultura da cana-de-açúcar são de 0,7 - 1,9 %.

As fontes de silicatos utilizadas apresentaram diferença nos teores de Si solúvel e Si total. Assim, esperava-se que a aplicação do Agrosilício elevasse o teor foliar de Si em relação à aplicação de Holcim, a qual possui 94% menos Si solúvel. Observa-se que o teor de Si foi equivalente ao tratamento testemunha, no qual não foi aplicado Si. Este

fato se deve, provavelmente, à presença de Si neste solo, que poderia ter alto nível de Si disponível.

Tabela 27. Médias de silício na folha de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Dose dos Silicatos (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	%		%	
0	1,3		1,4	
400	1,2 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>
800	1,3 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	1,4 <sup>ns</sup>
1600	1,5 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>
Médias	1,3 a	1,2 a	1,1 a	1,3 a
DMS <sub>Fonte</sub> = 0,2 ; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,4		DMS <sub>Fonte</sub> = 0,3; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,6		
CV (%) = 17,2; <b>W = 0,938</b>		CV (%) = 25,8; <b>W = 0,983</b>		
<b>F<sub>Levene</sub> = 0,609 ; F<sub>não-aditividade</sub> = 3,442</b>		<b>F<sub>Levene</sub> = 1,134; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,34</b>		

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

**Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.**

A aplicação de silicato afeta os teores foliares de Si. Esses teores podem ser afetados ainda pelo tipo de solo, origem do silicato e variedade de cana-de-açúcar, podendo a aplicação de silicato aumentar, em média, 32,57 a 50,3% o teor de Si em relação à testemunha, nas variedades SP791011 e RB72454, respectivamente (MADEIROS; VIEIRA; AQUINO, 2009). Korndörfer; Colombo; Rodrigues (1998) determinaram os teores de 0,76; 1,04 e 1,14%, respectivamente, para as variedades RB72454, SP79-1011 e SP71-6163 e observaram que existe uma relação muito estreita entre os teores foliares e a dose de Si aplicada, o que não foi observada neste experimento, mesmo com teores significativos acumulados nas folhas. Pode-se sugerir que esta área pode ter sido submetida, anteriormente, a aplicação de silicato, o que pode ter reduzido o efeito positivo desta prática, nesta safra, uma vez que o efeito residual do silício já foi avaliado por Korndörfer; Pereira; Camargo (2002).

## 4.2.2 Metais pesados

Os teores de cádmio não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas duas fazendas avaliadas (Tabela 28). Também não foram apresentadas diferenças nos teores de cádmio, para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Os teores foliares de cádmio se encontraram abaixo dos níveis tolerados para plantas, ou seja, 5-10 mg kg<sup>-1</sup> (MENGEL; KIRKBY, 1987).

Oliveira (2009), estudando absorção, transporte e redistribuição e tolerância de cádmio em plantas de arroz, observou que, aumentando as concentrações de cádmio na solução nutritiva na presença de silício, ocorreu uma redução no acúmulo de cádmio nas folhas, raízes e na casca.

Tabela 28. Médias de cádmio nas folhas de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Dose dos Silicatos (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem <sup>1</sup>	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	-----µg kg <sup>-1</sup> -----		-----µg kg <sup>-1</sup> -----	
0	83,0		775	
400	81,8 <sup>ns</sup>	105 <sup>ns</sup>	228,8 <sup>ns</sup>	170,0 <sup>ns</sup>
800	133,3 <sup>ns</sup>	94,8 <sup>ns</sup>	134,0 <sup>ns</sup>	73,3 <sup>ns</sup>
1600	87,5 <sup>ns</sup>	81,5 <sup>ns</sup>	157,5 <sup>ns</sup>	124,0 <sup>ns</sup>
Médias	94,2 a	93,8 a	173,4 a	122,4 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 47,0 ; DMS <sub>Dunnett</sub> = 73,8 CV (%) = 39,9; <b>W = 0,981</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 4,4; DMS <sub>Dunnett</sub> = 10,2 CV (%) = 42,8; <b>W = 0,925</b>	
	<b>F<sub>Levene</sub> = 1,525; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,294</b>		<b>F<sub>Levene</sub> = 1,48; F<sub>não-aditividade</sub> = 2,431</b>	

<sup>1</sup>Dados com transformação  $\sqrt{x}$ . Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância; **Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.**

Os teores de cromo não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas duas fazendas avaliadas (Tabela 29). Na fazenda Avenida, não foi observada diferença nos teores foliares de cromo entre os silicatos aplicados, porém, na fazenda Vargem, o silicato Holcim apresentou um menor teor de cromo foliar (282,7 µg kg<sup>-1</sup>) em relação ao Agrosilício, que apresentou um valor médio de 480,5 µg

kg<sup>-1</sup>. Esses resultados podem ser verificações dos altos valores de cromo encontrados no Agrosilício em relação ao Holcim (Tabela 11).

Os teores de cromo foliares ficaram abaixo dos níveis tolerados para plantas, nas duas fazendas avaliadas. Os teores de cromo toleráveis variam em alguns trabalhos, como descritos por Mengel; Kirkby (1987), que indicam a faixa crítica entre 1,0-2,0 mg kg<sup>-1</sup>. Já Lake (1987) e Melo et al. (1997) consideram teores de 10 a 100 mg kg<sup>-1</sup> de cromo como toleráveis.

Tabela 29. Médias de cromo nas folhas de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Dose dos Silicatos (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	-----µg kg <sup>-1</sup> -----		-----µg kg <sup>-1</sup> -----	
0	444,3		358,3	
400	127,0 <sup>ns</sup>	267,8 <sup>ns</sup>	622,0 <sup>ns</sup>	243,8 <sup>ns</sup>
800	174,5 <sup>ns</sup>	274,3 <sup>ns</sup>	546,3 <sup>ns</sup>	279,5 <sup>ns</sup>
1600	368,5 <sup>ns</sup>	506,8 <sup>ns</sup>	273,3 <sup>ns</sup>	324,8 <sup>ns</sup>
Médias	223,6 a	349,6 a	480,5 b	282,7 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 136,1; DMS <sub>Dunnett</sub> = 317,6 CV (%) = 51,4; <b>W = 0,968</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,791; F<sub>não-aditividade</sub> = 4,625</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 194,7; DMS <sub>Dunnett</sub> = 454,3 CV (%) = 60,0; <b>W = 0,972</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 2,612; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,247</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

**Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.**

Na fazenda Vargem, não foi observada diferença entre as doses, para o cromo foliar, porém na fazenda Avenida, foi observado um modelo quadrático. Portanto, na dose de 757,25 kg ha<sup>-1</sup> dos silicatos (Agrosilício e Holcim), espera-se o menor teor de cromo foliar (196,85 µg kg<sup>-1</sup>). A partir dessa dose, a concentração de cromo foliar tende a aumentar até a dose 1600 kg ha<sup>-1</sup>.

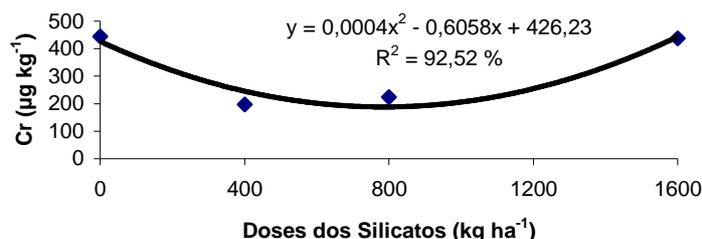


Figura 4. Cromo foliar em resposta a diferentes doses dos Silicatos (Agrosilício e Holcim), Fazenda Avenida, Guaíra - SP, 2009

Os teores de níquel foliar não apresentaram diferença em relação à testemunha (ausência de silicato), nas duas fazendas avaliadas (Tabela 30). Também não foram apresentadas diferenças nos teores de níquel, para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Os teores de níquel foliares ficaram abaixo dos níveis tolerados para plantas, nas duas fazendas avaliadas. Os teores tolerados para plantas são de 20,0-30,0 mg kg<sup>-1</sup> (MENGEL; KIRKBY, 1987).

Tabela 30. Médias de níquel nas folhas de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Dose dos Silicatos (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	-----µg kg <sup>-1</sup> -----		-----µg kg <sup>-1</sup> -----	
0	705,0		605,0	
400	852,3 <sup>ns</sup>	641,3 <sup>ns</sup>	1069,3 <sup>ns</sup>	577,3 <sup>ns</sup>
800	1017,3 <sup>ns</sup>	728,0 <sup>ns</sup>	1079,5 <sup>ns</sup>	933,0 <sup>ns</sup>
1600	823,5 <sup>ns</sup>	780,0 <sup>ns</sup>	747,8 <sup>ns</sup>	782,3 <sup>ns</sup>
Médias	897,7 a	716,4 a	965,5 a	764,2 a
	DMS <sub>Fonte</sub> = 182,8 ; DMS <sub>Dunnett</sub> = 426,7 CV (%) = 26,9; <b>W = 0,972</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 1,425; F<sub>não-aditividade</sub> = 0,842</b>		DMS <sub>Fonte</sub> = 261,2; DMS <sub>Dunnett</sub> = 609,7 CV (%) = 36,8; <b>W = 0,981</b> <b>F<sub>Levene</sub> = 4,028; F<sub>não-aditividade</sub> = 2,655</b>	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

Os teores de chumbo foliar não apresentaram diferenças em relação à testemunha (ausência de silicato), nas duas fazendas avaliadas (Tabela 31). Também

não foram apresentadas diferenças nos teores de chumbo, para os silicatos (Agrosilício e Holcim) e para as doses dos silicatos aplicadas.

Estes teores de chumbo foliar ficaram abaixo dos níveis tolerados pelas plantas, nas duas fazendas avaliadas. Pois, de acordo com Mengel; Kirkby (1987), os teores foliares tolerados para plantas são de 10,0-20,0 mg kg<sup>-1</sup>.

Tabela 31. Médias de chumbo nas folhas de cana-de-açúcar em diferentes fontes e doses, Fazenda Avenida e Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

Dose dos Silicatos (kg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Avenida		Fazenda Vargem	
	Agrosilício	Holcim	Agrosilício	Holcim
	-----µg kg <sup>-1</sup> -----		-----µg kg <sup>-1</sup> -----	
0	1686		1478,5	
400	1736,8 <sup>ns</sup>	1829,5 <sup>ns</sup>	1268,5 <sup>ns</sup>	1104,0 <sup>ns</sup>
800	2062,5 <sup>ns</sup>	2815,8 <sup>ns</sup>	2050,5 <sup>ns</sup>	1278,5 <sup>ns</sup>
1600	2200,8 <sup>ns</sup>	2824,8 <sup>ns</sup>	1859,3 <sup>ns</sup>	2105,8 <sup>ns</sup>
Médias	2000,0 a	2490,0 a	1726,1 a	1496,1 a
DMS <sub>Fonte</sub> = 724,8; DMS <sub>Dunnett</sub> = 1691,6		DMS <sub>Fonte</sub> = 400,5; DMS <sub>Dunnett</sub> = 934,7		
CV (%) = 39,0; <b>W = 0,929</b>		CV (%) = 29,3; <b>W = 0,975</b>		
<b>F<sub>Levene</sub> = 3,176; F<sub>não-aditividade</sub> = 1,41</b>		<b>F<sub>Levene</sub> = 3,256; F<sub>não-aditividade</sub> = 2,431</b>		

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; \*significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a, 0,05 de significância;

Valores em negrito indicam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), homogeneidade, pelo teste de Levene (F) e não aditividade, pelo teste de Tukey (F<sub>não-aditividade</sub>), a 0,01 de significância; Valores sem negrito indicam falta de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), falta de homogeneidade, pelo teste de Levene (F), e aditividade, pelo teste de Tukey, a 0,01 de significância.

As doses dos silicatos não apresentaram diferença na fazenda Avenida, porém, na fazenda Vargem, à medida que as doses dos silicatos aumentaram, os teores de chumbo foliar tenderam a aumentar também (Figura 5). O valor médio de chumbo foliar esperado foi de 1.298 µg kg<sup>-1</sup>. E as taxas de incremento em chumbo foliar para cada kg ha<sup>-1</sup> dos silicatos aplicados foi de 0,3999 µg kg<sup>-1</sup>.

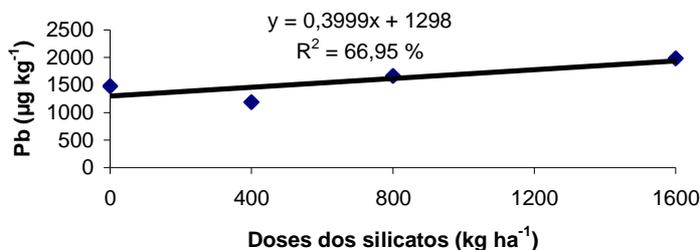


Figura 5. Chumbo foliar em resposta a diferentes doses dos silicatos (Agrosilício e Holcim), Fazenda Vargem, Guaíra - SP, 2009

A baixa ocorrência ou mesmo a ausência de metais nas partes aéreas de plantas de cana-de-açúcar também foi relatada por Silva et al. (2000), os quais, analisando plantas cultivadas em solos que receberam, no ano anterior, lodo de esgoto nas doses de 20, 40 e 80 t ha<sup>-1</sup>, não detectaram a presença de metais nas partes aéreas das plantas, porém verificaram a concentração desses elementos nas raízes.

A planta de cana-de-açúcar não é consumida in natura, sendo assim não apresenta riscos de contaminação com metais pesados para a saúde humana. Segundo Marques; Marques; Tasso Junior (2001), na produção de açúcar, o colmo da cana é submetido ao processo de industrialização, envolvendo tratamentos físico-químicos que podem minimizar a presença de elementos potencialmente tóxicos no produto final. No caso da produção do álcool, também existe a possibilidade de que os elementos tóxicos, em sua maioria, sejam eliminados durante o processo de fabricação.

## 5 CONCLUSÕES

De modo geral, a aplicação de diferentes doses e fontes de silicatos não promoveram alterações nos atributos químicos do solo, teores de micronutrientes e contaminação com metais pesados, nas três profundidades e nas duas fazendas avaliadas.

Assim como, também não promoveu alteração nos teores de micronutrientes e metais pesados nas folhas da cultura da cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <<http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. 2010.
- ABREU, C. A. de; LOPES, A. S. ; SANTOS, G. C. G. dos. Micronutrientes. **In :** NOVAIS, R. F.; et al. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2007. 1017 p.
- ACCIOLY, A. M. A. **Amenizantes e estratégias para estabelecimento de vegetação em solos de áreas contaminadas por metais pesados**. 2001. 170 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; et al. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.
- ALCARDE, J.C. **Metodologia oficial de análise de corretivos de acidez**. 3. ed. Porto Alegre, 2009. 58p.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; et al. Aplicação de resíduo siderúrgico em um latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.299-304, maio/ago.1993.
- BATAGLIA, O. C.; et al. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim, 78).
- BRASIL DECRETO Nº. 2954. Aprova o regulamento da lei nº 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas (texto integral)**. DEC 004954, 14 jan., 2004, 27p.
- CAMPOS, M. L.; et al. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. **Commun. Soil Sci. Plant. Anal.**, New York, v. 34, p. 547-557, 2003.
- CARVALHO FILHO, A.; et al. Agressividade da adubação com silicato sobre a germinação do milho. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 199-203, 2007.
- CENTEC: INSTITUTO CENTRO DE ENSINO TECNOLÓGICO. **Produtor de cana-de-açúcar**. 2ª ed. rev. – Fortaleza: Edições Demócrito Rocha; Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. 64 p.
- CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental – Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas para o estado de São Paulo. Disponível em:

<[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf)>. Acesso em: 10 de jan. 2010.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE v. 40, n. 2, p. 211-218, 2009.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª** Aproximação. Viçosa – MG, 1999. 359p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Cana-de-açúcar: Safra 2009/2010**, Terceiro Levantamento, dezembro de 2009. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3cana\\_09.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3cana_09.pdf)>. Acesso em: 28 dez. 2009.

CONAMA - Conselho nacional do meio ambientes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 10 de jan. 2010.

COSTA, C. N.; et al. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente **In: MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo**. 3 ed. Porto Alegre: Evangraf, p.285, 2006.

CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; SILVA, A. J. Silicon alleviates the toxicity of cadmium and zinc for maize (*Zea mays* L.) Grown on a contaminated soil. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, 171:849-853, 2008.

DIETZEL, M. Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.64, p.3275-3281, 2000.

DOWDY, R. H.; et al. Trace metal movement in na aeric ochraqualf following 14 years of annual sludge applications. **Journal of Environmental Quality**, v.20, p.119-123, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, p.412, 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectiva**. 2 ed. Editora Planta, p.401, 2006.

FERNANDES, R. B. A.; et al. Avaliação da concentração de metais pesados em áreas olerícolas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n. 11. p. 81-93, 2007.

- FERREIRA, D. F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para o Windows versão 4.0 I**: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional biometria, 45.000, São Paulo. Anais..., São Paulo: UFSCAR, 2000. p. 255-258.
- FIGUEIREDO, P. Um pouco de história. **In**: DINARDO-MIRANDA, L.L., VASCONCELOS, A.C.M., LANDELL, M.G.A. **Cana-de-Açúcar**. Instituto Agrônomo. Campinas. 2008.
- GONÇALVES, F. A. de. **Fertilidade e fitodisponibilidade de metais pesados em solo com resíduo de sucata automobilística**. 2007. 84f. Dissertação (Pós-graduação - Gestão de recursos agroambientais) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.
- HORST, W. J.; MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Soil.**, v.50, p.287-303, 1978.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. Florida: CRC Press, p.315, 2000.
- KORNDÖRFER, G. H., PEREIRA, H. S., NOLLA, A. **Análise de silício: solo planta e fertilizante**. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, Boletim Técnico; 02. 2004.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, Boletim Técnico; 01. 2004.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do Si na produção de cana-de-açúcar. **STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 06-09, 2002.
- KORNDÖRFER, C. M.; et al. Correção da acidez do solo com silicato de cálcio e o papel do silício na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*. **In**: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Anais...** Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.144- 144.
- KORNDÖRFER, G.H. Existe alguma relação entre silício e PD. **In**: **DIRETO NO CERRADO**, APDC - Associação de Plantio Direto no Cerrado, 4(12) 5, abr/1999.
- KORNDÖRFER, G.H.; et al. 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/MG. v.23, n.3, p.623-629, 1999.
- KORNDÖRFER, G.H., COLOMBO, C.A.; RODRIGUES, L.L. **Effect of thermo-phosphate as silicon source for sugarcane**. Inter-American Sugar Cane Seminar. 9-11 Sept., Miami, FL. 1998.
- KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba n.70, p.1-3, 1995.

- LAKE, D.L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J.N. **Heavy metals in wastewater and sludge treatment process**. Boca Raton: CRC Press, v.2, p.91-130, 1987.
- LIAN, S. Silica fertilization of rice. **The fertility of padd soils and fertilizer applications for rice**. Food And Fertilizer Technology Center, Taiwan, p.197-220, 1976.
- LIANG, Y.; et al. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. **Environ. Poll.**, v.147, p.422-428, 2007.
- LIANG, Y.; WONG, J. W. C.; WEI, L. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. **Chemosphere**, v.58, p.475-483, 2005.
- LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. **O silício na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. 7p (Encarte técnico. Informações Agronômicas, nº 87).
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 17-39. (Studies in Plant Science, 8).
- MADEIROS, L. B.; VIEIRA, A. de O.; AQUINO, B. F. de. Micronutrientes e silício nas folhas de cana de açúcar: Escoria siderúrgica aplicada no solo. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 6, n. 1, p. 027-037, jan/abr 2009.
- MAKSIMOVIC, J. D.; et al. Silicon modulates the metabolism and utilization of phenolic compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown at excess manganese. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v.170, p.739-744, 2007.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed., rev. atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; SCHULZE, D. Z. Trace elements in Cerrado Soils. In: ALVAREZ V., V. H.; et al. **Tópicos em ciência do solo**. v. 2, p.102-142, 2002.
- MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JUNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal:FUNEP, 2001. 170 p.
- MC KEAGUE E CLINE, J.A.; CLINE, M. G. Sílica in soils. **Adv. In Agro**, v. 15, p.339-397,1963.
- MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Micronutrientes. In: DINARDO-MIRANDA, L.L., VASCONCELOS, A.C.M., LANDELL, M.G.A. **Cana-de-Açúcar**. Instituto Agronômico. Campinas. 2008.

MELO, W.J.; et al. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...**Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern, Intern. Potash Institute, 1987. 687 p.

MORIKAWA, C. K.; SAIGUSA, M. Si amelioration of Al toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.) growing in two Andosols. **J. Plant Soil.**, v.240, p.161-168, 2002.

NEUMANN, D.; NIEDEN, U. Z. Silicon and heavy tolerance of higher plant. **Phytochemistry**, v.56, p.685-692, 2001.

NOVAIS, R. F.; et al. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2007. 1017 p.

OLIVEIRA, A. C. S. **Acúmulo de micronutrientes e de elementos tóxicos em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça**. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

OLIVEIRA, L. A. de. **Silício em pantas de feijão e arroz: absorção, transporte, redistribuição e tolerância ao cádmio**. 2009. 158 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de energia nuclear na agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. (eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/ USP. p.133-146, 1993.

ORLANDO FILHO, J.; et al. Adubação de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois tipos de despalha: cana crua x cana queimada. **STAB**, v.1, p.7-11, 1994.

PAIM, L. A.; et al. Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. **Química Nova**, v.29, p.28-33, 2006.

PRADO, H. do; et al. Ambientes de produção. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-Açúcar**. Instituto Agrônômico. Campinas. 2008.

PRADO, R. M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória silicatada como corretivo de acidez do solo**. 2000. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

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

- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual de escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 287-296, 2003.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F. M. Resposta da cana-de-açúcar a aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25,n.1,p.199-207, 2001.
- QUAGGIO, A. J.; RAIJ, B. V. Cálcio, magnésio e correção da acidez do solo. **In: DINARDO-MIRANDA, L.L., VASCONCELOS, A.C.M., LANDELL, M.G.A. Cana-de-Açúcar**. Instituto Agronômico. Campinas. 2008.
- RAIJ, B. V. Pesquisa e Desenvolvimento em micronutrientes e metais pesados **In: FERREIRA, M. E.; et al. Micronutrientes elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, p. 1-10, 2001.
- RAIJ, B. V; et al., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico).
- RAIJ, B.V.; et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- RAMOS, L. A.; et al. Reatividade de corretivo da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.849-8577, 2006.
- REIS JUNIOR, R. A.; P. H., MONNERAT. Diagnose nutricional da cana de açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1,p.367-392, 2002.
- RIBEIRO, M.R., NASCIMENTO, C.W.A., RIBEIRO FILHO, M. R., CANTALICE, J.R.B. **Tópicos em Ciência do solo**. v. VI. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Rio de Janeiro. 2009.
- SANTOS, F. S. dos; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do; MAZUR, N. **In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.
- SAVANT, N. K.; et al. Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A review. **J. Plant Nutrition**, New York, v.12, n. 22, p.1853-1903, 1999.
- SHI, Q. H.; et al. Silicon-mediated alleviation of Mn toxicity in Cucumis sativus in relation to activities of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. **Phytochemistry**, v.66, p.1551-1559, 2005b.
- SHI, X. H.; et al. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. **Plant Soil**, v.272, p.53-60, 2005a.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-396.

SILVA, F.C et al. Evaluating the residual effects of sludge in root distribution an heavy metals in sugar cane crop. **International Sugar Journal, Glamorgan**, v.102, n.1220, p.424-30, 2000.

SNYDER, G.H. **Development of a silicon soil test for Histosol - grown rice.** Belle Glade EREC Res. Rep. EV-1991-2. Florida, USA. Univ. Florida, Belle Glade, 1991.

SOMMER, M.; et al. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes: A review. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v.169, p.310-329, 2006.

SOUZA, D. M.; LOBATO, E. **Cerrado: correção e adubação.** 2ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizantes: micronutrientes and other beneficial elements in soil and fertilizers.** 4. ed., 1985.754 p.

WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J. The effect of silicon on yield and manganese-54 uptake and distribution in the leaves of barley plants grown in culture solutions. **Plant Physio.**, v32, p.404-409, 1957.

WUTKE, A. C. P.; GARGANTINI, H.; GOMES, A. G. Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivos da acidez do solo. Campinas. **BRAGANTIA** (Boletim técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. v.21, n.45, agosto, 1962.