

**FONTES E DOSES DE SILICATO NO  
RENDIMENTO AGRÍCOLA E NA  
QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-  
AÇÚCAR**

**GUSTAVO MELASIPO VILELA LEITE**

**2006**

**GUSTAVO MELASIPO VILELA LEITE**

**FONTES E DOSES DE SILICATO NO RENDIMENTO AGRÍCOLA E  
NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

**Orientador**

**Prof. Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Leite, Gustavo Melasipo Vilela

Fontes e doses de silicato no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da  
cana-de-açúcar / Gustavo Melasipo Vilela Leite. – Lavras : UFLA, 2006.

52 p. : il.

Orientador: Luiz Antônio de Bastos Andrade

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Cana de açúcar. 2. Adubação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.61891

**GUSTAVO MELASIPO VILELA LEITE**

**FONTES E DOSES DE SILICATO NO RENDIMENTO AGRÍCOLA E  
NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

**APROVADA em 24 de fevereiro de 2006.**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup>. Janice Guedes de Carvalho    DCS/UFLA

Dr. Ivan Antônio dos Anjos                APTA/IAC

Dr. Júlio César Garcia                      APTA/IAC

**Prof. Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade**  
**UFLA**  
**(Orientador)**

**LAVRAS**  
**MINAS GERAIS - BRASIL**

*A Deus, pelo seu grande amor  
em todos os momentos de nossas vidas.*

**DEDICO**

*Em especial aos meus pais, Francisco Alencar Vilela Leite e Marília  
Melasipo Vilela Leite, pelo amor e dedicação.*

*Aos meus avôs (in memoriam) e avós, Ana Vilela Leite e Irene  
Duarte Melasipo, por todos os ensinamentos de vida  
transmitidos.*

*Ao meu irmão, Alexandre Melasipo Vilela Leite, pela  
sua sinceridade, amor e companheirismo.*

*Aos meus amigos e amigas, pela inestimável  
ajuda, apoio e incentivo.*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Professor Luiz Antônio de Bastos Andrade, pelo companheirismo, compreensão, incentivo, amizade, apoio, orientação e por acreditar no meu potencial.

A Professora Janice Guedes de Carvalho pela co-orientação, apoio e amizade.

Ao Professor João Batista Donizetti Corrêa (*in memoriam*) pelo apoio, pela grande amizade e pelos nobres ensinamentos pessoais e profissionais transmitidos durante o curso de graduação.

Aos amigos da Pós-Graduação, Martin Gross, Marcelo Cruz Mendes, Paulo Schmidt, Fábio Silva Macedo, Diogo Gonçalves Neder, Júlio Garcia e Ivan dos Anjos, pela grande ajuda na conclusão deste trabalho, pelo agradável convívio e amizade.

A Moema Guarieiro Ribeiro de Assis e família, pela grande amizade, dedicação e apoio incondicional para a conclusão desta dissertação.

Ao Sr. João Mendez e família, pela amizade e apoio.

Aos colaboradores do setor de produção da Cachaça João Mendes, pelo apoio durante a implantação e a condução do experimento de campo.

Aos meus pais, Francisco Alencar Vilela Leite e Marília Melasipo Vilela Leite, pelo amor, educação, amizade, dedicação, caráter e pela lição de vida transmitida.

Ao meu irmão, Alexandre Melasipo Vilela Leite, por sua amizade, companheirismo e dedicação à família.

Ao Grupo Coimbra e seus colaboradores, em especial os da unidade produtora de Lagoa da Prata, pela amizade, apoio e confiança depositada.

Em especial a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução e conclusão deste trabalho.

A DEUS que, acima de tudo e de todos, olha por nós, permitindo-me alcançar mais este objetivo.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>II</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REFERENCIAL TEORICO .....</b>	<b>3</b>
2.1 Formas de silício no solo .....	3
2.2 Caracterização das escórias de siderurgia.....	4
2.3 Uso de escórias de siderurgia como corretivo de solo .....	7
2.4 Mecanismos de absorção e função nas plantas .....	9
2.5 Efeito das escórias de siderurgia em algumas culturas e na cana-de-açúcar .....	11
2.6 Produtos comerciais.....	14
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
3.1 Caracterização da área experimental .....	16
3.1.1 Clima .....	16
3.1.2 Solo.....	16
3.2 Tratamentos, parcelas e delineamento experimental .....	18
3.3 Instalação e condução do experimento .....	20
3.3.1 Variedade utilizada .....	21
3.4 Características avaliadas.....	21
3.4.1 Teores foliares de nutrientes .....	21
3.4.2 Número de colmos por metro .....	22
3.4.3 Rendimento médio de colmos por hectare.....	22
3.4.4 Análises químicas – tecnológicas da cana-de-açúcar .....	22
3.4.5 Análises estatísticas .....	23
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>24</b>
4.1 Teores Foliares de Nutrientes .....	24
4.1.1 Macronutrientes .....	24
4.1.2 Micronutrientes.....	28
4.1.3 Teores Foliares de Si na Cana-de-açúcar.....	32
4.2 Número de colmos por metro linear .....	36
4.3 Rendimento de colmos .....	38
4.4 Características químico-tecnológicas da cana-de-açúcar .....	40
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>45</b>



## RESUMO

LEITE, G.M.V. **Fontes e doses de silicato no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.** 2006. 52p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras-Lavras, MG.<sup>1</sup>

Com o objetivo de estudar os efeitos da aplicação de diferentes fontes e doses de silicato na cultura da cana-de-açúcar, variedade SP80-1816, instalou-se um experimento num Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, em área localizada no alambique João Mendes – “JM” (Sítio Vó Zirica), no município de Perdões, estado de Minas Gerais. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, esquema fatorial  $3 \times 3 + 1$ , sendo três fontes de silicato de cálcio (Silifétil, Extrativa e Agronelli) e três doses (150, 300 e 450  $\text{kg.ha}^{-1}$ ), mais um tratamento adicional, sem silicato (controle), totalizando 10 tratamentos. As diferentes fontes e doses foram aplicadas no sulco de plantio juntamente com adubação NPK. A aplicação de silicato de cálcio no sulco de plantio, independente das fontes e doses utilizadas, proporcionou um aumento no teor de fibra (%) cana, uma redução no número de colmos colhidos, mas não influenciou o rendimento de colmos colhidos e o de açúcar total recuperável (ATR) da cana planta.

---

<sup>1</sup> **Orientação:** Prof. Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade UFLA.

## ABSTRACT

LEITE, G.M.V. **Silicate sources and doses on sugarcane in the yield and technological quality.** 2006. 52p. Dissertation (Master degree in Agronomy) – Federal University of Lavras - Lavras, MG.<sup>1</sup>

One experiment was established on a Yellow-red Latosol Distrophic soil, located at “João Mendes” – JM sugarcane distillery, Perdões, county, MG, Brazil to evaluate sources and doses of silicate on sugarcane, SP 80-1816 var., production. The experimental design was a randomized block in a 3 x 3 + 1 factorial scheme with three calcium silicate sources (“Silifertil”, “Extrativa”, and “Agronelli”) at three doses (150, 300, and 450 kg.ha<sup>-1</sup>) plus one additional treatment without silicate, making 10 treatments. Silicate sources and doses were applied at planting furrow together with NPK fertilizer. Calcium silicate applied at planting furrow promoted increase in sugarcane fiber percentage and decrease in number of harvested stalk although did not affect stalk yield and recovered total sugar (RTS) regardless the source or dose applied.

---

<sup>1</sup> **Guidance:** Prof. Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) ocupa papel de destaque no cenário econômico e social, principalmente na geração de divisas, por ser, até então, a principal fonte alternativa para a agroenergia, além da utilização intensiva de mão-de-obra direta e indireta.

O Brasil, maior produtor, cultivou, na safra 2005/2006, uma área de 5,88 milhões de hectares com a cultura da cana-de-açúcar. A região Centro-Sul foi responsável por 85% da produção brasileira de cana-de-açúcar e moeu 336 milhões de toneladas, diante da quebra de produção generalizada. Em relação aos 328,9 milhões de toneladas do período 04/05, houve incremento de 2,1%. A quantidade de açúcar total recuperável (ATR) que mede o volume de matéria-prima utilizada para transformação em açúcar e em álcool teve um aumento de 2,6%. A safra 05/06 foi eminentemente alcooleira, com a produção de 14,4 bilhões de litros no Centro-Sul, ou seja, 5,9% acima dos 13,593 bilhões de litros da safra anterior. A produção de açúcar ficou em 22,050 milhões de toneladas, 0,3% abaixo dos 22,122 milhões de toneladas da safra 04/05 (Unica, 2006).

Incrementos na produção e na produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar tiveram início em 1975 com a implantação do Programa Nacional do Álcool, o PROÁLCOOL, devido à crise do petróleo. Tendo em vista a grande demanda mundial por energia renovável, se faz notória a grande expansão da área cultivada em novas fronteiras agrícolas, como áreas de Cerrado (Embrapa, 1982), o que, muitas vezes, tem utilizado de áreas restritivas quanto aos aspectos edafoclimáticos.

Vale ressaltar que, quanto à fertilidade de solos, a maioria dos solos brasileiros são pobres e ácidos, sendo a extração de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar muito alta, como potássio, nitrogênio, magnésio, cálcio, fósforo e silício (Si), além de micronutrientes como ferro e molibdênio (Silva &

Casagrande, 1983). Dessa forma, torna-se necessário realizar um bom manejo, principalmente na correção e suplementação dos solos por meio de corretivos e adubações.

O Si tem recebido pouca atenção dos pesquisadores, provavelmente pelo fato de ser o mesmo recentemente incluído no grupo de elementos considerados como essenciais para as plantas, de acordo com a Lei 6.894 de outubro de 1980, aprovada em 14 de janeiro de 2004 (Brasil, 2004).

No entanto, os efeitos benéficos do Si têm sido demonstrados em várias espécies vegetais, especialmente quando estas plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico (Datnoff et al., 2001; Faria, 2000; Takahashi, 1995; Korndörfer et al., 1999a). E, gramíneas em geral, dentre elas a cana-de-açúcar, são classificadas como acumuladoras de Si e os depósitos deste elemento são encontrados nas paredes celulares, no lúmen celular e em localizações extracelulares (Yoshida, 1965).

As escórias de siderurgia, resíduos da produção de ferro-gusa, contém silício em suas composições químicas. Para esta indústria, tal resíduo é um passivo, além de ser um poluidor do meio ambiente. No entanto, estudos que venham a comprovar sua utilidade na agricultura, tanto como corretivo de solo, como fonte de silício, podem viabilizar sua utilização em escala comercial.

O objetivo deste trabalho foi o de estudar os efeitos de fontes de escórias de siderurgia e doses de silicato concentradas no sulco de plantio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

## 2 REFERENCIAL TEORICO

### 2.1 Formas de silício no solo

O silício (Si) aparece na crosta terrestre numa concentração de até 8% e na forma de vários complexos minerais. Do ponto de vista agrônômico, as principais formas de Si presentes no solo são: a) na forma solúvel  $H_4SiO_4$ , ou ácido monossilícico; b) adsorvido  $H_3SiO_4^-$ ; c) precipitado com óxidos de ferro e alumínio, e os minerais silicatados podendo ser cristalinos ou amorfos. A solubilidade destes minerais dependem da temperatura, pH, tamanho de partículas, composição química e presença de rachaduras (rupturas) na sua estrutura. Também a dissolução desses minerais é afetada por fatores de solo, tais como: matéria orgânica, teor de umidade, potencial de oxi-redução e sesquióxidos (Korndorfer, 1996).

Vários pesquisadores acreditam que os sesquióxidos atuam como fonte de Si. A concentração desses na solução do solo ( $H_4SiO_4$ ) pode variar de 0,1 a 0,6 mM. O equilíbrio químico do nutriente no solo depende principalmente do pH, o qual diminui com o aumento do mesmo, Vokweiss (1967).

Smith & Sanchez (1980) mencionaram que a dissolução ou intemperismo dos minerais presentes nos solos das regiões de clima tropical, mais quente e úmidos, resultam normalmente em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio, pobre em nutrientes básicos e Si dissolvido. A quantidade deste elemento presente nos solos tropicais pode ser de 5 a 10 vezes menor que nos solos das regiões temperadas.

Segundo Rajj e Camargo (1973), o Si é um componente majoritário dos minerais do grupo dos silicatados. Em solos tropicais ocorre principalmente no quartzo ( $SiO_2$ ), bem como na caulinita e outros minerais de argila. Para Silva (1983), mesmo sabendo que o Si é um dos elementos mais abundantes na crosta

terrestre e que a maioria dos solos contém consideráveis quantidades de Si, cultivos consecutivos podem reduzir o nível deste elemento até um ponto em que a adubação com Si faça-se necessária. Os Histosolos (solos orgânicos) também são considerados limitados quanto ao Si disponível (Snyder et al., 1986).

Nos solos de cerrado brasileiro, em geral, profundamente intemperizados e lixiviados, há uma acentuada dessilicatização e pobreza em bases. Existem frações argilosas constituídas essencialmente de caulinita e sesquióxidos, com baixa relação molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (relação Ki), algumas vezes inferior a 0,5 (EMBRAPA, 1982).

No estado de São Paulo, Raij e Camargo (1973), avaliando solos com diferentes texturas e grau de intemperismo, verificaram valores menores de Si solúvel no Latossolo fase arenosa e os maiores valores em Podzólico argiloso. Isso se deve à reduzida porcentagem de argila no Latossolo, aliada à menor superfície específica total, quando comparado ao Podzólico, menos intemperizado e mais argiloso.

## **2.2 Caracterização das escórias de siderurgia**

A atividade de siderurgia tem como primeira etapa a obtenção do ferro bruto e impuro, “ferro-gusa”, por meio da redução dos minérios de ferro e, como resíduo, a escória de siderurgia de alto-forno, compreendendo cerca de 65% do volume total das escórias do Brasil (Prado et al. 2001).

O Brasil é o sexto maior produtor mundial de ferro-gusa com produção anual de cerca de 25 milhões de toneladas, gerando por volta de 6,25 milhões de toneladas de escória anualmente, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor nacional, responsável por mais da metade de todo o ferro-gusa e aço produzidos internamente (Korndörfer et al., 2002).

É importante salientar que os processos e a eficiência de produção de ferro-gusa e do aço não são iguais para todas as siderúrgicas, de forma que as escórias obtidas podem apresentar diferenças, destacando-se ainda que elas apresentam composição química formada a partir de diversos óxidos, basicamente de Ca, Mg, Si, Fe e Mn. Desse modo, a quantidade de óxidos presentes e a sua concentração serão influenciadas pela constituição química da matéria-prima (minério de ferro, carvão, calcário ou cal), além do tipo de refratário utilizado nas paredes do forno (Prado et. al., 2001). Segundo Kato & Owa (1997), o índice de basicidade da escória de siderurgia pode afetar a liberação de Si ao solo.

De maneira simplificada, a escória de siderurgia pode ser definida como sendo um resíduo obtido por meio da sílica do minério de ferro, que reage com o cálcio do calcário em alto-forno, resultando em silicato de cálcio mais impurezas (Malavolta, 1981). Segundo Barber (1967), as escórias são divididas em três tipos: escórias de alto-forno, escórias de ferro-gusa (“open-hearth slag”) e escória básica de Thomas. As duas primeiras são utilizadas como corretivos da acidez do solo e como fontes de Si, Ca, Mg, Fe e Mn, enquanto a escória básica de Thomas tem seu principal uso como fertilizante fosfatado, por apresentar elevados teores de  $P_2O_5$ .

As escórias siderúrgicas são formadas basicamente por altas concentrações de silicato de cálcio e magnésio, fato que sugere a sua utilização como corretivo da acidez do solo e como fonte de Ca, Mg e Si para as plantas, especialmente para solos arenosos com baixíssima fertilidade. No entanto, em seu estado original, a escória é um material de composição química e granulometria bastante variável, refletindo sensivelmente no seu poder relativo de neutralização total (PRNT).

Segundo Anderson et al. (1987), as escórias silicatadas apresentam baixa solubilidade quando aplicadas em solos alcalinos (pH elevado), porém, tem

poder neutralizante em solos ácidos e devem ser utilizadas como corretivo a longo prazo. A aplicação de silicatos finamente moídos ao solo é prática comercial no Havaí e em outras partes no mundo, por causa do aumento nas produtividades. O efeito positivo dos silicatos é normalmente associado ao aumento da disponibilidade do Si solúvel ou “disponível”, ao efeito do pH e também aos micronutrientes que estes produtos podem conter. O Si pode ainda atuar na redução do Fe e Mn tóxicos para as plantas.

Quanto à solubilidade, Alcarde (1992) relata que o silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio. No entanto, a solubilidade do Si nos diferentes tipos de escórias é bastante variável. As escórias de alto-forno normalmente apresentam maiores teores de Si, mas, com baixa solubilidade, enquanto que as escórias de aciaria apresentam menores teores de Si, mas, de maior solubilidade. As escórias de produção de aço inox são as que apresentam Si na forma mais solúvel (Korndörfer et al., 2002).

De maneira geral, quando se trata do uso agrícola de resíduos industriais, surgem os questionamentos da presença de metais pesados potencialmente fitotóxicos (Prado, 2000). Segundo Korndörfer et al. (2002), algumas escórias podem apresentar altos teores de metais pesados na sua composição; no entanto, existem materiais derivados da indústria siderúrgica que podem apresentar teores inferiores de metais aqueles encontrados nos calcários. Piau (1991), após incubar três tipos de escórias de diversas granulometrias por 90 dias, constatou que não houve acréscimos de metais pesados no solo. Em um novo trabalho, Piau (1995), estudando os efeitos de escória siderúrgica e calcário em plantas de milho, observou que, apesar de teores de Al, Ti, Pb, Cr, Ni, Ba, V, Cd e Sr terem sido encontrados no solo e nos corretivos, não ocorreram prejuízos às plantas e nem danos ao solo nas dosagens utilizadas (1 e 2 vezes a necessidade de calagem).



### **2.3 Uso de escórias de siderurgia como corretivo de solo**

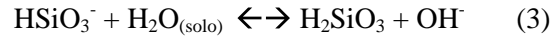
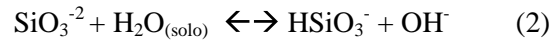
A maioria dos solos cultivados das regiões tropicais do Brasil apresenta baixo pH e níveis tóxicos de Al e Mn, promovendo menor disponibilidade de nutrientes, tais como Ca, Mg e P, proporcionando menor exploração do volume do solo pelas raízes e, assim, menores produtividades quando não são realizadas as práticas de calagem.

Segundo Coelho (1973), os efeitos principais da calagem são: suprimento das deficiências de Ca e Mg, melhoria das características físicas do solo, devido ao fornecimento de condições adequadas de pH para a atividade microbiana, produzindo maior quantidade de matéria orgânica decomposta, eliminação dos efeitos tóxicos do Al e do Mn, maior disponibilidade de Mo, P e S.

Dentre os materiais mais utilizados na correção de solos destacam-se os óxidos, hidróxidos, escórias de siderurgia (silicatos) e carbonatos de cálcio e magnésio (Malavolta, 1981).

As escórias de siderurgia podem ser utilizadas na agricultura basicamente como fornecedoras de Ca, Mg e Si para as culturas ou como corretivo da acidez do solo. Entretanto, estes materiais, apesar de estarem disponíveis no mercado brasileiro, têm sido pouco comercializados para esse fim (Quaggio, 2000).

Com a aplicação da escória, ocorre, normalmente, a correção da acidez do solo, tendo em vista a ação do silicato de cálcio, devido à base química  $\text{SiO}_3^{2-}$ , ocorrendo, dessa forma, algumas reações químicas no solo de maneira semelhante ao calcário, como aumento do pH e precipitação de Al e Mn tóxicos (Prado & Fernandes, 2001a). Segundo Alcarde (1992), citado por Korndörfer et al.(2002), a reação neutralizante do silicato pode ser explicada de acordo com as seguintes equações:



Barbosa Filho et al. (2004), avaliando a influência da escória silicatada na acidez do solo, verificaram que sua aplicação promoveu uma ação corretiva, com conseqüente aumento das disponibilidades de Si, P, Ca trocável e da percentagem de saturação por bases (V%).

Wutke et al. (1962) observaram que as escórias de alto forno e de aciaria (produção de aço) tiveram a mesma eficiência do calcário no tocante à elevação do pH do solo, proporcionando ainda maiores produtividades de batata.

Fortes (1993) avaliou os efeitos de duas escórias de alto-forno de fabricação de ferro-gusa de diferentes granulometrias, provenientes de duas siderúrgicas do estado do Maranhão, na correção da acidez de dois Latossolos Vermelho-Amarelos de diferentes texturas incubadas de 2, 11, 30, 45, 60 e 90 dias. Constatou que as escórias funcionaram como corretivo da acidez dos solos, observando, ainda, que as melhores condições foram obtidas com escórias de granulometrias mais finas, 90 dias de incubação e maiores doses. O mesmo autor ressaltou também que as taxas de reatividade para os calcários, adotadas pela legislação, não podem ser aplicadas às escórias.

Piau (1995) estudou a viabilidade de uma escória de aciaria (produção de aço), escória de alto forno e calcário dolomítico como corretivos e fertilizantes para o milho cultivado em vasos de 5 litros, utilizando um solo franco-arenoso e um argiloso, que foram incubados com esses corretivos nas dosagens de 1 e 2 vezes a necessidade de calagem. Concluiu que as escórias, além de atuarem como corretivo de solo, podem fornecer nutrientes às plantas,

ou aumentando a absorção no caso de P, K e S, pois, em todos os tratamentos, o pH do solo elevou-se, reduzindo-se consideravelmente o teor de Al trocável no solo.

Estudando os efeitos da aplicação de escória silicatada e calcário como corretivos de solo na cultura da cana-de-açúcar, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argiloso, Prado (2000) verificou que a escória corrigiu a acidez do solo, semelhante ao do calcário, tanto na correção quanto na elevação da saturação por bases (V%).

## **2.4 Mecanismos de absorção e função nas plantas**

A absorção de Si pelas plantas da solução do solo dá-se de forma passiva, com elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas. O Si é absorvido pela planta como ácido monossilício,  $H_4SiO_4$  (Jones & Handreck, 1967).

O silício tem sido considerado como nutriente essencial para certas culturas, principalmente em gramíneas, em que seus teores chegam a ser de dez a vinte vezes maiores do que em dicotiledôneas. Os teores de silício na palha de arroz inundado podem superar 5%. Deficiências do elemento têm sido constatadas em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio, e pobres em sílica (Raij, 1991).

Os mecanismos de proteção induzida do Si contra infecções por fungos e consumo por herbívoros são documentados (Samuels et al., 1991). Alguns autores têm relacionado a presença do Si na planta com resistência às pragas e doenças, maior capacidade fotossintética e tolerância à falta de água. (Korndorfer et al., 1999 a e b).

A adubação com Si tem demonstrado eficiência no controle ou redução de incidência de várias doenças importantes no arroz. Pesquisas realizadas em

solos orgânicos (Histosolos) no sul da Flórida demonstraram que a fertilização com Si reduziu a incidência com bruzone em 17% a 31% e helmintosporiose de 15% a 32% em relação ao tratamento que não recebeu Si (Datnoff et al., 1991). A adubação com Si pode eliminar ou reduzir o número de aplicações de fungicidas durante o ciclo da cultura. Uma boa colheita de arroz chega a extrair 1,5 toneladas de SiO<sub>2</sub> . ha<sup>-1</sup> (Malavolta, 1976). Numerosos pesquisadores (Aleshin et al., 1987; Datnoff et al., 1991; Elawad & Green, 1979; Kim & Lee, 1982; Nanda & Gangopadhyay, 1984; Ohata et al., 1972; Osuna-Canizales et al., 1991; Takahashi, 1967; Yamauchi & Winslow, 1987) têm mostrado que o Si reduz a severidade de várias doenças de importância econômica, tais como bruzone, mancha parda e escaldadura, entre outras. Estas doenças tendem a diminuir com o aumento da concentração de Si no tecido foliar (Datnoff et al., 1991).

O silício afeta positivamente o crescimento e a produção de biomassa de um grande número de plantas (a maioria monocotiledôneas), por prover rigidez para as estruturas das plantas (Epstein, 1994). Pode também reduzir a toxidez por metais pesados, aliviar desbalanços entre nutrientes e resistência para o stress por salinidade (Hodson & Evans, 1995).

Investigações sobre os mecanismos do Si são largamente restritos às culturas como arroz, trigo, cana-de-açúcar e pepino, mas, muito pouco é conhecido sobre a sua importância em vegetações naturais e pastagens artificiais. Segundo Lanning e Eleuterius (1985), espécies do gênero *Spartina* têm grandes concentrações de silício, similares a muitas espécies de gramíneas (poaceae).

Interações complexas do Si com outros elementos em solos ácidos (McKeague & Cline, 1963) e durante a absorção pela planta são conhecidas (Hodson & Evans, 1995).

## **2.5 Efeito das escórias de siderurgia em algumas culturas e na cana-de-açúcar**

Escórias de siderurgia têm sido utilizadas na agricultura para fornecer Si às plantas em vários países. Todavia, poucos estudos vêm sendo realizados no Brasil para verificar a viabilidade destes subprodutos, apesar de muitos trabalhos demonstrarem a sua importância em diversas culturas, principalmente para o arroz e a cana-de-açúcar (Snyder et al., 1986; Datnoff et al., 1992; Deren et al., 1994; Matichenkov et al., 1995; Korndorfer et al., 1999a, b).

No entanto, o crescimento e o rendimento de muitas poaceae (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milho, aveia, trigo, milho, grama kikuyu, grama bermuda, etc.) e algumas não gramíneas (poaceae), como alfafa, feijão, tomate e alface, têm sido incrementados com o aumento da disponibilidade de Si para as plantas (Elawad & Green, 1979; Silva, 1983).

Resultados experimentais pioneiros sobre o uso de escórias de siderurgia provêm da literatura estrangeira, basicamente dos Estados Unidos (Prado, 2001). No Brasil, são poucos os trabalhos que tratam de respostas das culturas ao uso das escórias. No entanto, o interesse por esta linha de pesquisa no país vem crescendo significativamente nos últimos anos. A maior parte dos trabalhos desenvolvidos no Brasil está restrita a culturas anuais e semi-perenes, conduzidas em casa de vegetação. Assim, diversos autores têm demonstrado os inúmeros benefícios da utilização das escórias silicatadas, principalmente em gramíneas, que são naturalmente acumuladoras de Si, tais como arroz, milho, cana-de-açúcar, sorgo, entre outras.

Piau (1991), avaliando a viabilidade do uso das escórias como corretivo e fertilizante, concluiu que a aplicação de uma escória moída na peneira 50-60 (ABNT), 90 dias antes do plantio, age eficientemente na correção da acidez do solo. Em trabalho posterior, Piau (1995), estudando o efeito de uma escória de

aciaria, uma escória de alto-forno e um calcário dolomítico no rendimento da cultura do milho, observou que a aplicação das escórias promoveu acréscimos de Ca e Mg na planta, tendo a escória de alto-forno também aumentado o K na parte aérea do milho, elevando também as concentrações de Fe, Mo, Zn e Mn.

Mesmo sabendo que as funções do Si na cana-de-açúcar ainda não foram muito bem definidas, é certo que o elemento desempenha um papel importante nesta cultura. Kidder e Gascho (1977) obtiveram aumento da produtividade da cana-de-açúcar pela aplicação de Si (metasilicato de cálcio- $\text{CaSiO}_3$ ), tendo esse incremento na produção sido associado ao aumento de Si na planta.

O Si aparece na cana-de-açúcar em altas concentrações, podendo variar desde 0,14% em folhas jovens até 6,7% nos colmos e folhas velhas. No Havaí, as folhas contendo menos de 0,5% de Si são freqüentemente afetadas por um sintoma denominado “freckling”. A causa deste sintoma é ainda bastante controvertida, porém, a maioria dos pesquisadores o atribui à falta de Si e a desequilíbrios nutricionais. O aparecimento da ferrugem na cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*) pode estar relacionado com o referido sintoma. O sintoma é mais severo nas folhas velhas e a área fotossintética é, normalmente, fortemente atingida. De acordo com Fox et al. (1967), a aplicação de 6 t/ha de silicato ao solo proporcionou resultado positivo.

Cheong et al. (1973) concluíram que o aparecimento de “sarda” nas folhas de cana-de-açúcar foi ocasionado pela deficiência de Si e não à toxidez de ferro ou manganês, como era atribuído. Segundo ainda o mesmo autor, o Si se acumula nos espaços interfibrilares, reduzindo o movimento da água por meio da parede celular, aumentando, assim, a economia de água da planta pela diminuição da taxa de transpiração.

De acordo com Kidder & Gascho (1977), os aumentos de produtividade da cana-de-açúcar variam notadamente entre 10% e 35% com a aplicação de silicato no solo.

No Brasil, Gurgel, citado por Silva (1983), observou um aumento de 6% na produção de cana planta e 16% na cana soca cultivada em Latossolo Roxo, com adição de 3 toneladas de silicato de cálcio por hectare. No estado de São Paulo, Catani et al., citados por Silva (1983), estimaram que 1 tonelada de colmos exporta 0,91 kg de Si do solo.

Anderson et al. (1987) obtiveram um aumento na produtividade de colmos de cana-de-açúcar de 39% e de 50% na produção de açúcar, com a aplicação de 20 toneladas de escórias silicatadas/ha no plantio.

Anderson et al. (1991) estudaram a aplicação da escória de siderurgia nas doses de 0; 2,5; 5,0; 10 e 20 t.ha<sup>-1</sup>, com granulometria de 100%, passando em peneira 40 mesh, em dois locais da região de Everglades (Flórida, USA). Os solos apresentavam pH de 6,0 a 6,4 (Local 1) e pH de 5,8 a 6,4 (Local 2). Pelos resultados, verificou-se que a escória de siderurgia elevou a concentração de Si foliar (folha+1, com nervura) aos 5 meses da emergência dos brotos e incrementou significativamente os rendimentos de cana-de-açúcar.

Para Kidder & Gascho (1977), solos carentes em Si resultam na disseminação rápida do mosaico, atraso na maturação e diminuição da quantidade de sólidos solúveis no caldo de cana. Mas, é na produtividade de colmos o principal sintoma da deficiência do Si na cana-de-açúcar. Ainda segundo os mesmos autores, os aumentos de produtividades variaram entre 10% e 35%, não havendo efeitos nos teores de sacarose.

Prado (2000), avaliando a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo, observou que o perfilhamento da cana-de-açúcar foi influenciado positivamente pela aplicação da escória de siderurgia, na cana-planta e cana-soca, alcançando a produtividade

de 100 e 75 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, superiores às obtidas com a testemunha (cana-planta = 89 e cana-soca = 58 t ha<sup>-1</sup>). Prado e Fernandez (2001), em um experimento conduzido em condições de campo, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com cana-de-açúcar (SP80-1842), compararam a escória de siderurgia (aciaria) e um calcário calcítico acrescido com micronutrientes, equilibrando-se com o da escória, ambos aplicados em doses equivalentes a CaCO<sub>3</sub> iguais a 1,3; 3,6 e 7,5 t ha<sup>-1</sup>. Essas doses tinham por objetivo elevar a saturação por bases do solo a 50%, 75% e 100%. Para o rendimento de colmos e para o perfilhamento, a resposta da cana-de-açúcar (média de dois cortes) foi quadrática e linear, em função da aplicação do calcário e da escória, respectivamente. Concluíram que o maior perfilhamento, resultante da aplicação da escória de siderurgia, contribuiu para o maior rendimento de colmos da cana-de-açúcar.

Silveira Jr. et al. (2003) também obtiveram aumentos de produtividade de colmos na cana-planta e cana-soca com o uso de silicato, sendo estes aumentos superiores aos efeitos do calcário.

Pelo exposto, verifica-se que os trabalhos conduzidos até o presente referem-se à aplicação de silicato em área total, como corretivo de acidez do solo e fonte de silício. Entretanto, não foram encontrados, na literatura, trabalhos envolvendo a aplicação de silicato no sulco de plantio da cana-de-açúcar, justificando a realização do presente trabalho.

## **2.6 Produtos comerciais**

No Brasil, já são comercializados, como corretivo de solo e fonte de silício, produtos (silicato de cálcio) na forma de grânulos ou pó, pelas empresas Silifétil, Recmix, Agronelli e Extrativa, entre outras. Existem trabalhos que mostram a eficiência de alguns destes produtos (Korndörfer & Gascho, 1999),



mas, com um mercado promissor, é necessário estabelecer e padronizar um método de análise que possa ser adotado pelos laboratórios para atender aos consumidores e pelas empresas, a fim de estabelecer sistemas de controle de qualidade de seus produtos, pelo fato de eles apresentarem grande variabilidade na composição, afetando a qualidade do produto.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido em área localizada no alambique João Mendes – “JM” (Sítio Vó Zirica), no município de Perdões, situado na região sudoeste do estado de Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são latitude Sul de 21<sup>o</sup> 05' 20, longitude W. Gr. de 45<sup>o</sup> 05' 50”e altitude de 826 metros.

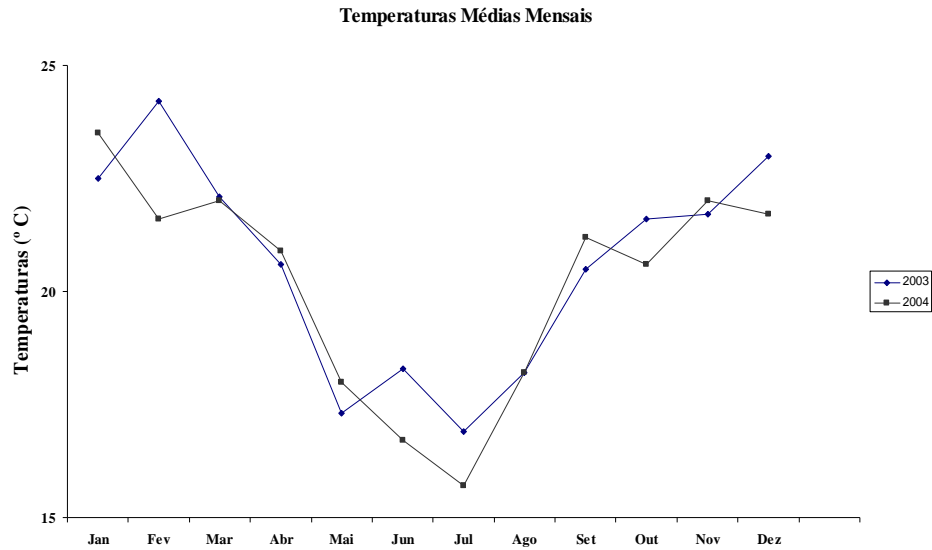
#### **3.1.1 Clima**

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, caracterizado por uma estação seca entre abril e setembro e uma estação chuvosa de outubro a março. A região apresenta uma média anual de precipitação pluvial 1.493,2 mm e temperatura média de 19,3°C (Brasil, 1992).

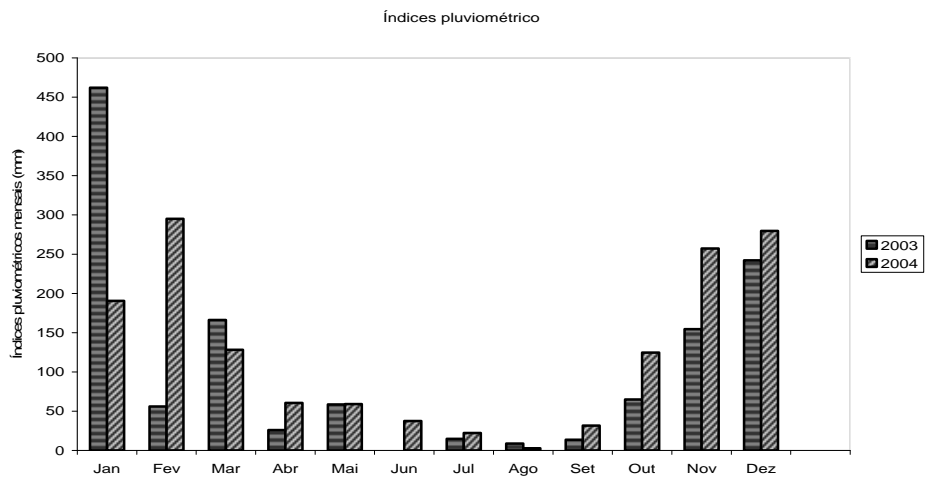
As temperaturas médias e os índices pluviométricos mensais, referentes aos anos de 2003 e 2004, período de condução do experimento, são apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

#### **3.1.2 Solo**

O solo no qual foi instalado o experimento caracteriza-se como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, com relevo plano a suave ondulado. As análises químicas e granulométricas do solo estão apresentadas na Tabela 1.



**FIGURA 1** – Variação mensal da temperatura média do ar (°C) dos anos de 2003 e 2004. UFLA, Lavras - MG (Fonte: Estação Climatológica de Lavras -MG).



**FIGURA 2** – Variação mensal da pluviosidade (mm) dos anos de 2003 e 2004. UFLA, Lavras - MG (Fonte: Estação Climatológica de Lavras - MG).

**TABELA 1** – Características químicas e granulométricas do solo da área experimental, profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm na área experimental. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Determinações	Resultados**	
	0 a 20 cm	20 a 40 cm
pH em água	5,1	5,3
Al <sup>3+</sup> trocável (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,4	0,4
H + Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	5,0	4,0
Ca <sup>2+</sup> trocável (cmolc/dm <sup>3</sup> )	1,7	0,7
Mg <sup>2+</sup> trocável (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,4	0,2
P disponível (ppm)	0,6	0,4
K disponível (ppm)	27,0	14,0
Matéria Orgânica (%)	2,5	2,0
SB (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,2	0,9
t (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,6	1,3
T (cmolc/dm <sup>3</sup> )	7,2	4,9
m (%)	16,0	30,0
V (%)	30,3	19,0
Zn (ppm)	0,1	0,1
Fe (ppm)	91,1	74,2
Mn (ppm)	21,4	6,4
Cu (ppm)	3,2	1,8
B (ppm)	0,2	0,2
S (ppm)	14,3	7,1
Areia (%)	43	
Silte (%)	12	
Argila (%)	45	

Análises realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA. P e K: extrator Mehlich – 1; Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 N; H + Al extraídos com acetato de cálcio 1N, pH 7,0.

### 3.2 Tratamentos, parcelas e delineamento experimental

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 3 + 1 com quatro repetições. Os fatores foram constituídos por três fontes de silicato, Silifértil, Extrativa e Agronelli, primeiro fator. Três doses (150, 300 e 450 kg.ha<sup>-1</sup>), segundo fator e um tratamento adicional, sem silicato (controle), totalizando, portanto, 10 tratamentos. As composições químicas das três fontes de silicato são apresentadas na Tabela 2.

**TABELA 2** - Porcentagem de SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO das fontes de silicato utilizadas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO
	-----%-----		
Silifértil	12	41	7,3
Agronelli	23	41	11
Extrativa	25	23	0,55

As parcelas experimentais foram constituídas por seis linhas de cana, espaçadas de 1,4m, com comprimento de 12 m com área total de 100,8m<sup>2</sup>. A área útil da parcela foi de 67,2 m<sup>2</sup> considerando-se as 4 linhas centrais. As parcelas foram espaçadas de 1 metro entre si, a fim de facilitar as avaliações e a visualização das estacas de identificação dos tratamentos.

Cada bloco foi constituído por 10 parcelas, ocupando uma área de 1.083,6 m<sup>2</sup>. Os blocos foram separados entre si por um carreador de aproximadamente 4 metros de largura, com o objetivo de facilitar o trânsito de máquinas e implementos com insumos utilizados na montagem e na condução do experimento. A área total ocupada pelo experimento foi de 5.882,4 m<sup>2</sup>.

### 3.3 Instalação e condução do experimento

No mês de setembro de 2003, foram retiradas amostras de solo, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, para a determinação das características químicas do solo, no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG.

O experimento foi instalado em uma área em pousio previamente levantada em que, após ter sido realizado análise de solo, constatou-se a baixa fertilidade. A vegetação predominante foi o capim braquiária (*Brachiaria decumbens*), sem manejo há, pelo menos, 3 anos.

Não se fez a aplicação de calcário na área, para não ocorrerem possíveis interferências com as fontes e doses de silicato utilizadas. Após o preparo convencional do solo, com aração e duas gradagens, realizou-se, em novembro de 2003, o plantio da cana-de-açúcar. A sulcação foi realizado mecanicamente, na profundidade de 20 a 30 cm, com sulcador de 2 linhas e espaçamento de 1,4m.

Todas as parcelas receberam adubação química, baseada na análise de solo (CFSEMG, 1999). Nos sulco de plantio foi aplicada uma formulação de cloreto de potássio e superfosfato simples respectivamente nas quantidades de 120 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  e 120 kg de  $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ . O silicato foi aplicado manualmente, no fundo do sulco de plantio, juntamente com a adubação de plantio. Realizou uma adubação de cobertura aos 60 dias após o plantio com nitrogênio, na quantidade de 40 kg  $ha^{-1}$  de N na forma de uréia, sendo o fertilizante aplicado nas entrelinhas da cultura.

O plantio foi realizado manualmente, distribuindo-se as mudas dentro dos sulcos de plantio, cruzando-se pé com ponta, buscando-se uma média de 14 gemas por metro. As parcelas constituíram-se de quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,5m (10 m<sup>2</sup> de área total). Como parcela útil, foram

consideradas as duas fileiras centrais, após retirada de 0,5 m como bordadura em cada uma das extremidades, perfazendo área útil de 4 m<sup>2</sup>.

Não houve necessidade de nenhum tipo de controle de pragas e doenças durante a condução do experimento, sendo feito apenas o controle de plantas daninhas por meio de capinas realizadas manualmente sempre que necessário. A colheita foi realizada de forma manual, sem queima prévia do canavial, em novembro de 2004.

### **3.3.1 Variedade utilizada**

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a SP 80-1816, que apresenta as seguintes características: bom perfilhamento e bom fechamento de entrelinhas, alta produtividade agrícola, não é exigente em solos, é de maturação média, muito rica em sacarose, tem baixo teor de fibra, o tombamento, o florescimento e o chochamento são ausentes (Fernandes, 1991).

## **3.4 Características avaliadas**

### **3.4.1 Teores foliares de nutrientes**

No mês de outubro de 2004, seguindo a metodologia proposta por Raij & Cantarella (1996), coletaram 30 folhas + 3 (folha mais alta com a aurícula visível) por parcela, excluindo-se a nervura central e utilizando-se apenas os 20 cm centrais.

As determinações dos teores de nutrientes nas folhas foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Lavras. A metodologia utilizada foi proposta por Malavolta et al. (1989).

### **3.4.2 Número de colmos por metro**

Por ocasião da colheita da cana planta, foram realizadas contagens do número de colmos na área útil de cada parcela, calculando-se, posteriormente, o número médio de colmos por metro.

### **3.4.3 Rendimento médio de colmos por hectare**

O rendimento de colmos foi obtido por meio de pesagens de 15 colmos colhidos sequencialmente, despontados e desfolhados nas quatro linhas da área útil de cada parcela. Pesaram-se então, os colmos em balança tipo dinamômetro, com capacidade para 120 kg, seguindo metodologia de Mariotti e Lascano (1969), citados por Arizono et al. (1998). Posteriormente, realizou-se a transformação do peso da área útil da parcela em toneladas por hectare.

### **3.4.4 Análises químicas – tecnológicas da cana-de-açúcar**

Por ocasião da colheita, foram retirados, aleatoriamente, 12 colmos seguidos na área útil de cada parcela, eliminando-se o palmito e a palha. Após a identificação, os colmos foram enfeixados, identificados e enviados para o laboratório da Usina Coinbra-Luciânia, em Lagoa da Prata, Minas Gerais, para determinação de fibra (%) cana, pol (%) cana, AR (%) cana, ATR (%) cana e pureza (%) cana. Entendem-se como fibra os constituintes insolúveis; como pol ou teor de sacarose aparente, como AR, os açúcares redutores (glicose + frutose), como ATR o açúcar total recuperável e como pureza a porcentagem de sacarose nos sólidos solúveis.



### 3.4.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (Tabela 3), com realização do teste de F, sendo as comparações entre os tratamentos integrantes do esquema fatorial efetuada por meio de análises de regressão. De acordo com recomendação de Yassin et al. (2002), as comparações dos tratamentos fatoriais com o controle foram feitas utilizando-se o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

**TABELA 3** – Esquema da análise de variância utilizada no experimento. UFLA, Lavras - MG, 2006.

<b>Causas de variação</b>	<b>Graus de liberdade</b>
Bloco	3
Fonte	2
Dose	2
Fonte x dose	4
Controle vs fatorial	1
Erro	27
<b>Total</b>	<b>39</b>

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Teores foliares de nutrientes

#### 4.1.1 Macronutrientes

Os resumos das análises de variância realizadas para os teores de macronutrientes encontrados nas folhas da cana-de-açúcar aos onze meses de idade, em função das diferentes fontes e doses de silicato de cálcio aplicadas, são apresentados na Tabela 4.

**TABELA 2** – Resumo da análise de variância para teores de macronutrientes na folha da cana-de-açúcar. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Fonte	2	1,05	0,0002	0,0057	0,111	0,030	0,0051
Dose	2	0,75	0,0096	0,0009	2,489*	0,032	0,0057
Fonte x dose	4	0,77	0,0106	0,0001	0,186	0,017	0,0137
Controle vs fatorial	1	0,1	0,0008	0,0035	0,130	0,036	0,0111
Erro	27	0,69	0,0045	0,0019	0,57	0,018	0,0440
C.V. (%)		7,66	6,43	6,63	14,58	12,84	7,46

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

Verifica-se, pelos dados da Tabela 4, que não ocorreram efeitos significativos de fontes, da interação fonte x doses e quando se compara o controle com os componentes do fatorial. Apenas para o tratamento que constou de diferentes doses de silicato estudadas houve diferença significativa para o teor foliar de cálcio.

Os valores médios obtidos para teores foliares dos macronutrientes, em função das fontes e doses de silicato de cálcio aplicadas, estão apresentados na Tabela 5.

Nota-se, portanto, pela Tabela 5, que os valores dos teores médios observados para nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre encontrados apresentam valores abaixo dos teores considerados ideais para a cultura segundo BOLETIM TÉCNICO 100 (1996). Os níveis ideais de macronutrientes para a cultura encontram-se no Quadro 1.

No entanto, Vitti et al. (1999) encontraram diferenças significativas para o teor de nitrogênio, quando avaliaram algumas fontes e doses de silicatos na cultura da cana-de-açúcar, diferentemente do que se encontra no presente trabalho.

Porém, quanto aos teores foliares de magnésio estudados, os mesmos encontram-se muito próximos ou dentro da faixa adequada para a cultura, segundo BOLETIM TÉCNICO 100 (1996). No entanto, estes não foram influenciados pelo cálcio, apesar de existirem na literatura muitas referências ao “antagonismo” entre o magnésio e o cálcio; em que a concentração de um no meio implica na diminuição da absorção do outro (Malavolta, 1981).

Sendo assim, na literatura há recomendações de que a relação entre os nutrientes Ca e Mg no solo seja de 3:1, respectivamente. A adição das diferentes fontes e doses de silicato, embora possuam um desbalanço na relação Ca:Mg, não interferiu no teor foliar de Mg na cana-de-açúcar.

Referente aos teores de Ca na folha, devido ao efeito de doses, realizou-se a análise de regressão, cujos resultados estão apresentados na Tabela 6. Observa-se, pela Figura 3 que o teor foliar de Ca teve uma redução linear, em função do aumento das doses de silicato de cálcio aplicadas no sulco.

**TABELA 5** – Teores foliares de macronutrientes (g.kg<sup>-1</sup>) na folha, em função das diferentes fontes e doses de silicato aplicadas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Tratamentos		Teores foliares de macronutrientes					
Fonte	Dose	g/kg					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Silifétil	150	10,50	0,98	6,6	5,84	1,05	0,84
	300	11,25	1,07	6,6	5,13	1,10	0,92
	450	10,00	1,08	6,5	4,52	1,07	0,85
Extrativa	150	10,75	0,97	6,6	5,50	1,09	0,87
	300	11,00	1,09	6,7	4,98	0,95	0,91
	450	11,25	1,06	6,5	4,81	0,97	0,93
Agronelli	150	10,75	1,07	6,7	5,56	1,21	0,86
	300	11,00	1,01	6,9	5,45	1,06	0,83
	450	11,50	1,03	6,7	4,85	1,02	0,92
Controle		11,00	1,02	7,0	5,35	1,16	0,94

**QUADRO 1** – Faixa de teores foliares adequados de macronutrientes em cana-de-açúcar.

Cultura da Cana-de-açúcar	N	P	K	Ca	Mg	S
	g/Kg					
	18 - 25	1,5 - 3,0	10 - 16	2,0 - 8,0	1,0 - 3,0	1,5 - 3,0

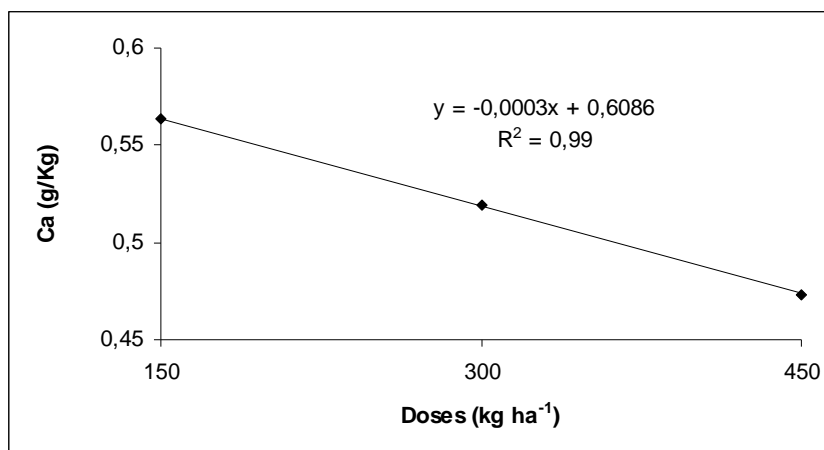
Fonte: Boletim Técnico 100, (1996)

**TABELA 6** – Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de cálcio na folha. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.
		Teor de Cálcio
Fonte	2	0,111
Dose	2	2,489*
Fonte x doses	4	0,186
Controle vs fatorial	1	0,130
Erro	27	0,57
C.V. (%)	-	14,28
Doses	(2)	0,024*
Linear	1	0,035*
Quadrática	1	0,0001*

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

Tais resultados são contrários aos obtidos por Piau (1995), o qual observou aumento no teor de Ca com a aplicação de escórias de alto-forno.



**FIGURA 3** – Teores foliares de cálcio em função das doses de silicato de cálcio aplicadas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Provavelmente, com o aumento da dose de silicato aplicada, tenha ocorrido um maior acúmulo de metais pesados, componentes dos produtos, que proporcionaram uma inibição competitiva com o cálcio, diminuindo sua absorção. Entretanto, do ponto de vista nutricional, essa variação foi de pequena magnitude, estando todos os teores observados dentro da faixa adequada para a cultura.

#### 4.1.2 Micronutrientes

Os resumos das análises de variância realizadas para teores de micronutrientes encontrados nas folhas da cana-de-açúcar, aos onze meses de idade, em função das diferentes fontes e doses de silicato de cálcio aplicadas, são apresentados na Tabela 7. Já os valores médios obtidos para teores foliares estão dispostos na Tabela 8 e os níveis ideais de micronutrientes para a cultura encontram-se no Quadro 2.

**TABELA 7** – Resumo da análise de variância para os teores foliares de micronutrientes. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fonte	2	0,358	5,25*	613,58	118,75	2,02
Dose	2	1,162	3,583	399,00	666,33	9,19
Fonte x dose	4	0,884	4,958*	436,33	380,71	10,36
Controle vs fatorial	1	1,524	1,226	713,25	119,02	0,71
Erro	27	0,473	1,236	469,73	291,89	4,75
C.V. (%)	-	6,46	24,57	18,26	28,80	11,10

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 8** – Valores médios obtidos para teores foliares de micronutrientes, em função dos tratamentos aplicados. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Tratamentos		Teores foliares de micronutrientes				
Fonte	Dose	mg.kg <sup>-1</sup>				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Silifértil	150	11,23	5,75	105	50,2	21,0
	300	10,60	5,00	115	65,5	19,7
	450	10,12	3,75	115	61,7	17,5
Extrativa	150	9,96	4,00	130	44,0	19,0
	300	10,75	3,75	131	77,7	18,7
	450	10,43	3,75	112	63,2	20,7
Agronelli	150	10,92	3,75	138	58,5	21,7
	300	11,08	6,75	120	54,0	20,5
	450	10,11	4,75	114	53,7	18,2
Controle		11,23	4,00	106	64,5	19,2

Verifica-se, pelos dados da Tabela 7, que os teores foliares médios de boro, ferro, manganês e zinco, obtidos nos tratamentos que receberam aplicação de silicato de cálcio (componentes do fatorial), não diferiram estatisticamente em relação ao controle (testemunha, sem aplicação de silicato).

Verifica-se, pela Tabela 7, que ocorreram efeitos significativos das diferentes fontes e doses de silicato apenas para teor foliar de cobre, havendo efeito de fonte e da interação fonte x dose.

**QUADRO 2** – Faixa de teores foliares adequados de macronutrientes em cana-de-açúcar.

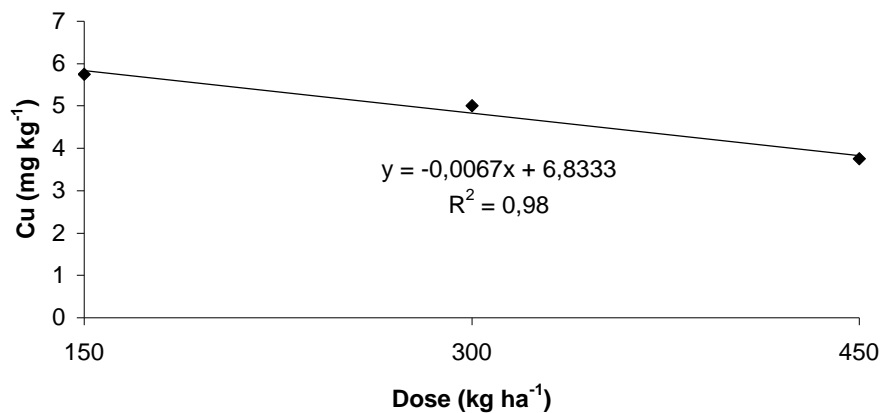
Cultura da Cana-de-açúcar	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Mg.kg <sup>-1</sup>				
	10 - 30	6 - 15	40 - 250	25 - 250	10 - 50

Fonte: Boletim Técnico 100 (1996).

**TABELA 9** – Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de cobre na folhas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.
		Teor de Cobre
Fonte	2	5,25*
Dose	2	3,583
Fonte x doses	4	4,958*
Controle vs fatorial	1	1,226
Erro	27	1,236
C.V. (%)	-	24,57
Fonte: Silifétil	(2)	9,33*
Linear	1	8,00*
Quadrática	1	0,16*
Fonte: Agronelli	(2)	0,08*
Linear	1	2,00*
Quadrática	1	16,6*
Fonte: Extrativa	(2)	4,08
Linear	1	0,12
Quadrática	1	0,04

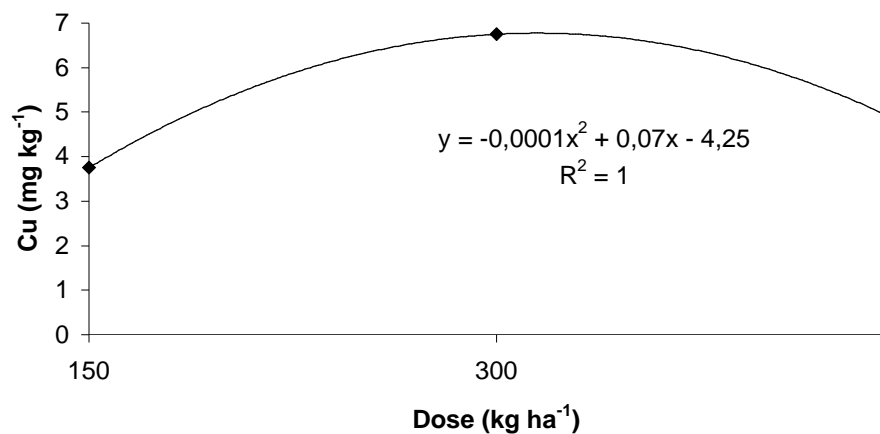
\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de F.



**FIGURA 4** – Teor foliar de cobre em função das doses da fonte Silifétil aplicada. UFLA, Lavras - MG, 2006.



Fazendo-se o desdobramento da interação fonte x dose (Tabela 9), verifica-se que, quando utilizou-se a fonte Silifétil, o teor foliar de cobre diminuiu linearmente com o aumento da dose de silicato aplicada (Figura 4). Tal como explicado para o cálcio, deve ter ocorrido inibição competitiva quando usou-se esta fonte.



**FIGURA 5** – Teor foliar de cobre em função das doses de Agronelli aplicada, UFLA. Lavras - MG, 2006.

De acordo com Malavolta (1981), a disponibilidade de alguns micronutrientes, entre eles o Cu, é diminuída com o aumento no valor do pH do solo. Dessa forma, ao aumentar as doses da fonte Silifétil que, por sua vez, tem ação potencializada por ser concentrado no sulco de plantio, devido ao seu poder de correção do solo (Fortes, 1993 e Prado, 2000) e conseqüente aumento no pH do solo, pode ter provocado uma indisponibilização de Cu no solo, levando a uma menor concentração deste elemento na folha.

A concentração foliar de cobre aumentou de forma quadrática à medida que se aumentou a dose da fonte Agronelli até 300 kg.ha<sup>-1</sup>, reduzindo sua concentração à medida que se aumentou a dose para 450 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 5).

#### 4.1.3 Teores foliares de Si na cana-de-açúcar

Os resumos das análises de variância realizadas para teores de silício encontrados nas folhas da cana-de-açúcar, aos onze meses de idade, expressos em mg.kg<sup>-1</sup>, em função das diferentes fontes e doses de silicato de cálcio aplicadas, são apresentados na Tabela 10.

**TABELA 10** – Resumo da análise de variância para o teor de silício na folha, UFLA. Lavras - MG, 2006.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.
		Teor de silício
Fonte	2	0,52
Dose	2	1,36
Fonte x doses	4	1,15 *
Controle vs fatorial	1	3,21
Erro	27	0,46
Média	-	2,15
C.V. (%)	-	31,7

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

Nota-se que não ocorreram efeitos significativos de fontes, doses e quando se compara o controle com os componentes do fatorial (Tabela 10). Apenas para a interação fontes x doses de silicato estudadas ocorreram diferenças significativa no teor foliar de silício.

No entanto, o resumo da análise de regressão do fator dose em função das fontes, está apresentado na Tabela 11. Já os gráficos das regressões estão

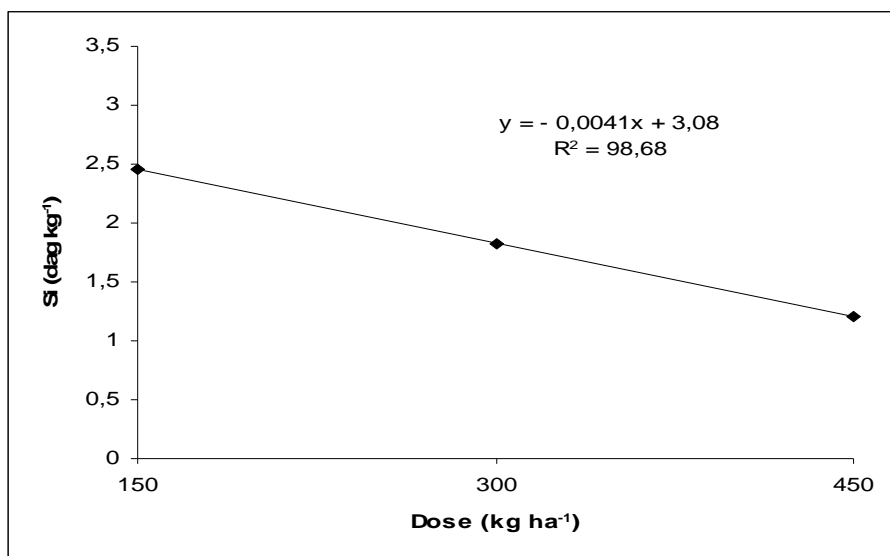
apresentados, para Silifértil na Figura 6, para Agronelli na Figura 7 e para Extrativa na Figura 8.

**TABELA 11** – Resumo da análise de variância e de regressão para o teor de silício na folha. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.
		Teor de silício
Fonte	2	0,52
Dose	2	1,36
Fonte x doses	4	1,15*
Controle vs fatorial	1	3,21
Erro	27	0,46
C.V. (%)		31,77
Fonte: Silifértil	(2)	1,58*
Linear	1	3,12*
Quadrática	1	0,04*
Fonte: Agronelli	(2)	1,00*
Linear	1	0,50*
Quadrática	1	1,50*
Fonte: Extrativa	(2)	1,08*
Linear	1	2,00*
Quadrática	1	0,16

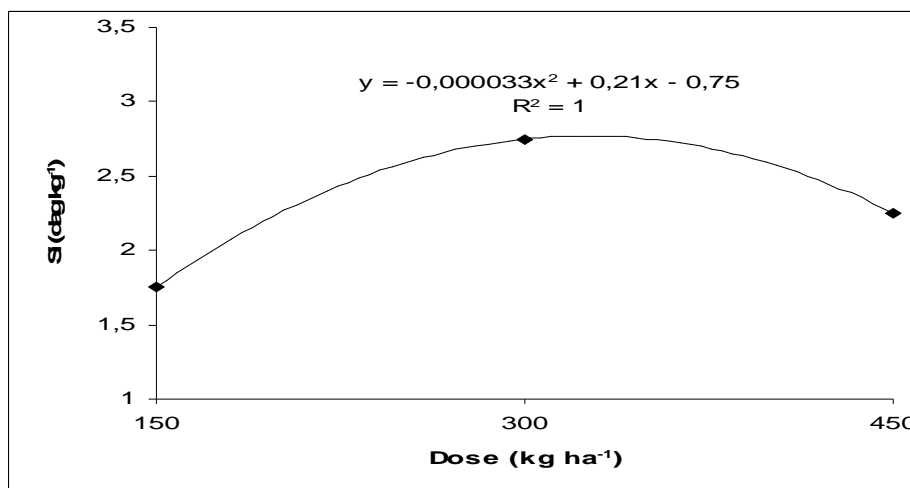
\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

Nota-se que quando foi aplicado o silicato da Silifértil, o teor foliar de silício diminuiu linearmente com o aumento das doses de silicato aplicadas (Figura 6). Tal como explicado para o cálcio, deve ter ocorrido inibição competitiva quando usou-se esta fonte. Como a variedade SP80-1816 não é tão exigente em fertilidade do solo, ou seja, é uma variedade não responsiva, o incremento de doses de adubação não reflita em maior absorção e acúmulo de nutrientes. No caso do silício, talvez o estudo com outra variedade possa fornecer resultados diferentes dos encontrados no presente trabalho.



**FIGURA 6** – Teor foliar de silício em função das doses de silicato Silifétil aplicadas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

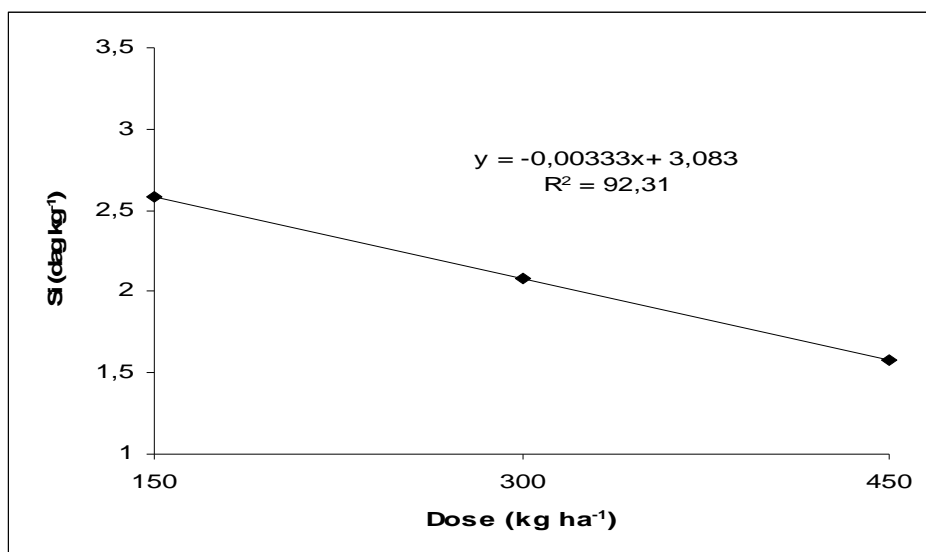
No entanto, quando foi aplicado o silicato Agronelli, observou-se efeito quadrático, tendo havido um pequeno aumento do teor de Si nas folhas até a dosagem de 300 kg.ha<sup>-1</sup>. Quando foi aplicada a dose de 450 kg.ha<sup>-1</sup>, verificou-se uma ligeira redução (Figura 7).



**FIGURA 7** – Teor foliar de silício em função das doses de silicato Agronelli aplicadas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Entretanto, quando foi aplicado o silicato Extrativa, a concentração foliar de silício diminuiu de forma linear, à medida que se aumentou a dose (Figura 8). O Si aparece em altas concentrações nas folhas da cana-de-açúcar, podendo variar de 0,14% em folhas jovens até 6,7% em folhas velhas. Anderson et al. (1991) sugeriram que o nível crítico de silício na matéria seca de cana-de-açúcar seja maior que 1,0%.

A resposta à aplicação de Si foi, provavelmente, limitada pelas deficiências de macronutrientes e micronutrientes conforme mostram os resultados dos teores foliares. A lei do mínimos formulada por Liebig, em 1962, reforça esse resultado, pois, para a maximização da produção, é necessária a disponibilidade adequada dos nutrientes. Caso contrário, esta poderá ser limitada pelo nutriente em menor disponibilidade.



**FIGURA 8** – Teor foliar de silício em função das doses de silicato Extrativa aplicadas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Apesar de terem ocorrido diferenças significativas nos teores foliares em função das fontes e doses aplicadas os teores foliares se encontram dentro dos níveis adequados para a cultura, segundo Anderson & Bowen (1992).

#### 4.2 Número de colmos por metro linear

O resumo da análise de variância para o número de colmos da cana-de-açúcar por ocasião da colheita da cana planta, em função das diferentes fontes e doses de silicato, apresentadas na Tabela 12.

Verifica-se, pela Tabela 12, que não ocorreram efeitos significativos de doses e da interação fonte x doses no número de colmos por metro. Apenas para fontes de silicato e quando se compara o controle com a média dos componentes do fatorial ocorrem diferenças significativas.

**TABELA 12** – Resumo da análise de variância e de regressão para número de colmos por metro linear em função das fontes e doses de silicato aplicadas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.
		Número de colmos
Fontes	2	0,79 *
Doses	2	0,19
Fonte x doses	4	0,06
Controle vs fatorial	1	1,18 *
Erro	27	0,21
Média	-	9,14
C.V. (%)	-	5,03

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

Portanto, observa-se, pelos dados da Tabela 13, que, quando se usou a fonte Agronelli, houve um menor número de colmos em relação às demais fontes Silifétil e Extrativa, e ao controle.

**TABELA 13** – Número de colmos por metro por ocasião da colheita em função das fontes de silicato de cálcio aplicadas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte	Número de colmos/metro
Silifétil	9,39 a
Extrativa	9,14 a
Agronelli	8,88 b
Controle	9,44 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Estes resultados discordam dos encontrados por Elwad et al. (1982) que, aplicando escória de TVA, escória da Flórida e o cimento com teores de silício de 164, 244 e 82 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, encontraram um aumento médio de 35% no perfilamento da cana planta. O autor atribuiu este ao silício, embora o mecanismo de ação não tenha sido totalmente esclarecido.

Prado & Fernandes (2000a), trabalhando em neossolo quartzarênico, estudaram o efeito da escória de siderurgia e do calcário na cultura da cana-de-açúcar, verificaram um incremento linear no número de perfilhos proporcionado pela escória de siderurgia, contrariando, portanto, com os resultados encontrados no presente trabalho.

### 4.3 Rendimento de colmos

O resumo da análise de variância realizada para rendimento de colmos da cana-de-açúcar na colheita, em função das diferentes fontes e doses de silicato de cálcio aplicadas, é apresentado na Tabela 14.

**TABELA 14** – Resumo da análise de variância para o rendimento de colmos em função das fontes e doses de silicato. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.
		Rendimento de colmos
Fonte	2	28,69
Dose	2	52,68
Fonte x doses	4	58,31
Controle vs fatorial	1	161,92
Erro	27	88,46
Média		84,10
C.V. (%)		11,18

Verifica-se, pela Tabela 14, que não ocorreram efeitos significativos de fontes, doses, interação fonte x dose e, quando se compara controle com as médias dos componentes do fatorial no rendimento de colmos. Os valores médios obtidos para o rendimento de colmos, em função das doses e fontes de aplicadas, são apresentados na Tabela 15.



**TABELA 15** – Rendimento de colmos em função das doses e fontes de silicato aplicadas. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Tratamentos		Rendimento de colmos (t.ha <sup>-1</sup> )
Fonte	Dose (kg.ha <sup>-1</sup> )	
Silifértil	150	83,5
Silifértil	300	79,0
Silifértil	450	82,0
Extrativa	150	82,7
Extrativa	300	83,2
Extrativa	450	86,3
Agronelli	150	84,7
Agronelli	300	80,7
Agronelli	450	85,2
Média dos tratamentos		83,0
Controle		93,5

\* significativo em relação ao controle, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Resultados semelhantes foram encontrados por Vitti et al. (1999), quando este estudou o efeito de diferentes fontes e doses de silício na cultura da cana-de-açúcar, em relação à produtividade e pol/ha. Estes autores não encontraram nenhuma influência das diferentes fontes e doses na produtividade agrícola de colmos.

Os resultados de alguns trabalhos diferem deste, provavelmente, pelas dosagens de silicato aplicadas serem significativamente maiores às doses utilizadas no presente estudo. Sendo assim, no Havaí, a aplicação de silicatos (escórias de siderurgia) em Latossolos tem incrementado a produção de cana-de-açúcar em até 12 t.ha<sup>-1</sup>, quando o teor de silício é bastante reduzido (Fox et al. 1967, citados por Prado, 1998). Gurgel (1979) mostrou que a aplicação de 3t.ha<sup>-1</sup> de silicato de cálcio puro, no plantio da cana-de-açúcar variedade CB 41-76, proporcionou aumento de 6,4% e 16% na produtividade de colmos de primeiro e segundo cortes, respectivamente.

Prado (2000), avaliando a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo, observou que o perfilhamento da cana-de-açúcar foi influenciado positivamente pela aplicação da escória de siderurgia, na cana-planta e cana-soca, alcançando a produtividade de 100 e 75 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, superiores às obtidas com a testemunha (cana-planta = 89 e cana-soca = 58 t ha<sup>-1</sup>). Prado e Fernandez (2001), em um experimento conduzido em condições de campo, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com cana-de-açúcar (SP80-1842), compararam a escória de siderurgia (aciaria) e um calcário calcítico acrescido com micronutrientes, equilibrando-se com o da escória, ambos aplicados em doses equivalentes a CaCO<sub>3</sub> iguais a 1,3; 3,6 e 7,5 t ha<sup>-1</sup>. Essas doses tinham por objetivo elevar a saturação por bases do solo a 50% 75% e 100%. Para o rendimento de colmos e para o perfilhamento, a resposta da cana-de-açúcar (média de dois cortes) foi quadrática e linear, em função da aplicação do calcário e da escória, respectivamente. Concluíram os autores que o maior perfilhamento, resultante da aplicação da escória de siderurgia, contribuiu para o maior rendimento de colmos da cana-de-açúcar.

Bittencourt et al. (2003), estudando os efeitos do silicato de cálcio em um Latossolo Vermelho Escuro, mostraram aumentos de 7% na produção de colmos de cana-de-açúcar.

#### **4.4 Características químico-tecnológicas da cana-de-açúcar**

Os resumos das análises de variância para as características químico-tecnológicas da cana-de-açúcar, em função das diferentes fontes e doses de silicato de cálcio aplicadas, são apresentados na Tabela 16.

Verifica-se, pela Tabela 16, que não ocorreram efeitos significativos de fontes, doses e da interação fontes x doses para nenhuma das características

químico-tecnológicas estudadas. Apenas quando se compara o controle com os componentes do fatorial, encontram-se diferenças significativas para açúcares redutores (%) cana e fibra (%) cana.

Observa-se, pela Tabela 17, para estas duas características, que a média dos tratamentos que receberam aplicação de silicato de cálcio (componentes do fatorial) foi superior à média obtida para o controle (testemunha, sem aplicação de silicato). Onde se aplicou o silicato, o valor obtido para fibra (%) cana foi de 11,67% contra 10,98% da testemunha. Isso pode ser explicado pelo fato do silício depositar-se nas plantas entre a cutícula e a epiderme, proporcionando maior rigidez (Epstein, 1994).

A aplicação de silicato elevou ainda a pol (%) cana de 14,84 para 15,12 e uma redução no AR (%) cana de 0,48 para 0,47 provavelmente porque segundo Korndorfer et al. (1999a; b), o silício proporciona uma maior capacidade fotossintética e, como consequência, uma maior produção de pol e uma menor proporção de açúcares redutores (Tabela 16).

Os valores médios obtidos para todas as características químico-tecnológicas estudadas, em função das fontes e das doses de silicato utilizadas, são apresentados na Tabela 16. Estes valores encontrados estão dentro dos padrões aceitos para caracterizar uma cana madura (Stupiello, 1987).

Deve ser ressaltado que a forma de pagamento de cana, atualmente baseia-se no açúcar total recuperável (ATR), elemento importante para fornecedores de cana-de-açúcar destinada à indústria. Esta característica não foi afetada pela aplicação das diferentes fontes e doses de silicato de cálcio, sendo que na média dos componentes do fatorial que receberam silicato, o ATR encontrado foi de 144,4 kg.t<sup>-1</sup> contra 141,0 kg.t<sup>-1</sup> do controle, diferença não significativa.

**TABELA 16** – Resumo da análise de variância e de regressão para as características químico-tecnológicas de cana-de-açúcar, em função das diferentes fontes e doses de silicato. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.					
		AR% cana	ATR (kg/t)	Brix % cana	Fibra % cana	Pol% cana	PZA% cana
Fonte	2	0,00068	15,62	0,11	0,13	0,19	1,28
Dose	2	0,00092	59,25	0,72	0,02	0,73	1,07
Fonte x dose	4	0,00031	21,78	0,41	0,13	0,26	0,16
Controle vs fatorial	1	0,0244*	24,03	1,17	1,78*	0,33	0,15
Erro	27	0,00053	27,11	0,45	0,45	0,33	0,54
Média	-	0,47	144,07	19,70	11,6	15,1	86,67
C.V. (%)	-	4,85	3,61	3,40	5,83	3,82	0,85

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

**TABELA 17** – Valores médios para as características químico-tecnológicas de cana-de-açúcar em função das diferentes fontes e doses de silicato. UFLA, Lavras - MG, 2006.

Tratamentos		AR (%) cana	ATR (kg/t)	Brix % cana	Fibra % cana	Pol% cana	PZA % cana
Fonte	Dose (kg.ha <sup>-1</sup> )						
Silifétil	150	0,45	147,08	20,10	11,84	15,44	87,11
	300	0,48	140,44	19,20	11,54	14,70	86,59
	450	0,46	145,92	19,87	11,60	15,31	87,15
Extrativa	150	0,48	143,64	19,70	11,67	15,05	86,47
	300	0,48	143,00	19,60	11,58	14,99	86,45
	450	0,46	149,42	20,32	11,49	15,69	87,22
Agronelli	150	0,48	142,59	19,55	11,58	14,93	86,37
	300	0,48	142,63	19,72	11,99	14,93	83,03
	450	0,48	144,00	19,80	11,79	15,10	86,50
Média dos fatoriais		0,47	0,47	144,40	19,76	11,67	15,12
Controle		0,48	0,48	141,00	19,20	10,98	14,84

## 5 CONCLUSÕES

A aplicação de silicato no sulco de plantio, independente de fontes e doses utilizadas, proporcionou um aumento no teor de fibra (%) cana, uma redução no aumento de colmos colhidos, mas não influenciou o rendimento de colmos e o de açúcar total recuperável (ATR) da cana-planta, variedade SP80-1816.

Os resultados encontrados neste trabalho mostram a necessidade da realização de novos estudos envolvendo outros tipos de solos, variedades, fontes, doses, influência de metais pesados, quantidade a ser aplicada e formas de aplicação.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

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

ALESHIN, N. E.; AVAKYYAN, E. R.; DYKUNCHAK, S. A.; ALESSHKIN, E. P.; BARYSSHOK, V. P.; VORONKOV, M. G. Role of silicon in resistance of rice to bruzone. **Doklady Akademii Nauk**, Moscow, v. 291, n. 2, p. 217-219, 1987.

ANDERSON, D. L.; SNYDER, G. H.; MARTIM, F. G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglade Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n. 5, p. 870-874, Sept./Oct. 1991.

ANDERSON, D. L.; BOWEN, J. E. **Nutrição da cana-de-açúcar.** Piracicaba: Potafós, 1992. 40 p.

ANDERSON, D. L.; JONES, D. B.; SNYDER, G. H. Response of a rice and sugar cane relation to calcium silicate slag on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 531-535, 1987.

ARIZONO, H.; MATSUOKA, S.; GHELLER, Y.; HOFFMANN, H. P.; BASSICHELLO, A. I.; MENESEZ, L. L. Alternativas para avaliação de produção de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 16, n. 5, p. 20, maio/jun. 1998.

BARBER, S. Liming Materials and Practices. In: DINAVER, R. C. (Ed.). **Soil acidity and liming.** Madison, 1967. p. 151-60.

BARBOSA FILHO, M. P.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, O. F. da. Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 325-333, mar./abr. 2004.

BITTENCOURT, M. F.; NOKAGHI, R. M.; KORNDORFER, G. H.; VOSS, L. V.; JARUSSI, J. R.; CAMARGO, M. S.; PEREIRA, H. S. Efeito do silicato de cálcio sobre a produção e qualidade da cana-de-açúcar – Usina Equipav. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, p. 66. 1CD-ROOM.

**BOLETIM TÉCNICO 100**, Instituto Agronômico – Campinas: Fundação IAC, 1996.

BRASIL Decreto nº 2954. Aprova o regulamento da lei nº 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e das outras providências. Normas jurídicas (texto integral)\_DEC004954, 14 de janeiro, 2004, 27p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas**. 1961-1990. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. 84p.

CHEONG, Y. W. Y.; HEITZ, A.; DEVILLE, J.; The effect of silicium on sugar cane growth in pure nutrient solution. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 24, n. 1, p. 113-115, June 1973.

COELHO, F. S. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 383 p.

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

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**: Studies in plant science. Amsterdam: Elsevier, 2001. 403 p.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; DEREN, C. W. Influence of silicon fertilizer on blast and brown spot development and on rice yields. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n. 10, p. 1011-1013, Oct. 1992.

DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Diseases**, St. Paul, v. 75, n. 7, p. 729-732, July 1991.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; ZINDER, G. H.; MARTIN, F. Silicon concentration disease response and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 3, p. 733-737, May/June 1994.

ELAWAD, S. H.; GREEN Jr., V. E. Silicium and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL RISO**, Milano, v. 28, p. 235-253, 1979.



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras do triângulo mineiro**. Rio de Janeiro, 1982. 525 p (Boletim Técnico, 1).

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

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Viçosa, 2000. 47 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, MG.

FERNANDES, A. C. **Terceira geração de variedades de cana COPERSUCAR**. São Paulo, 1991. 27 p. (COPERSUCAR. Boletim Técnico. Edição Especial).

FORTES, J. L. O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia do Estado do Maranhão na correção da acidez do solo**. 1993. 66 p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FOX, R. L.; SILVA, J. A.; YOUNGUE, O. R.; PLUCNETT, D. L.; SHERMAN, G. D. Soil and plants silicon and silicate response by sugar cane. **Soil Science Societly of America Proceedings**, Madison, v. 31, n. 6, p. 775-779, Nov./Dec. 1967.

GURGEL, M. N. A. **Efeitos do silicato de cálcio e sua interação com o fósforo no estado nutricional, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**. 1979. 62 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HODSON, M. J.; EVANS, D. E. Aluminum silicon interactions in higher plants. **Journal of Experimental Botany**, Cambridge, v. 46, n. 283, 161-171, Feb. 1995.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals, **Advances in Agronomy**, New York, v. 19, p. 107-147, 1967.

KATO, N.; OWA, N. Evaluation of Si availability in slag fertilizers by an extraction method using a cation exchange resin. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 43, n. 2, p. 351-359, June 1997.

KIDDER, G.; GASCHO, G. J. **Silicate slag recommended for specified conditions in Florida sugarcane.** Agronomy Facts. Florida Cooperative Extension Service, University of Florida, 1977. n. 65.

KIM, C. K.; LEE, S. C. Reduction of the incidence of rice neck bruise by integrated soil improvement practice. **Korean Journal of Plant Protection**, Suwon, v. 21, p. 15-10, 1982.

KORNDÖRFER, G. H. **Adubação com silício**; uma alternativa para o aumento da produtividade e controle de doenças e pragas do arroz, milho e cana-de-açúcar. Uberlândia – MG, 1996.

KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F.; SYNDER, G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 623-629, jul./set. 1999a.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de Si para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 101-106, 1999b.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L.; CORRÊA, G. F. Influence of Silicon on Grain Discoloration and Upland Rice Growth in Four Savanna Soils of Brazil. **Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 1, p. 93-102, 1999c.

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1. REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23. Pelotas, 1999. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.313-316.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura.** Uberlândia: UFU/ICIAG, 2002. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico, n. 01).

LANNING, F. C.; ELEUTERIUS, L. N. Silica and ash in tissues of some plants growing in the coastal area of Mississippi, USA. **Annals of Botany**, London, v. 56, n. 2, p. 157-172, Aug. 1985.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 527 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafós, 1989. 201 p.

MATICHENKOV, V. V.; ANDERSON, D. L.; SNYDER, G. H. Silicon in the soil and plant - Part II as a matter of fact. **Sugar Journal**, New Orleans, v. 58, n. 1, p. 8, 1995.

McKEAGUE, J. A.; CLINNE, M. G. Silica in the soil. **Advances in Agronomy**, New York, p. 339-396, 1963.

NANDA, H. P.; GANGOPADHYAY, S. Role of silicated cells in rice leaf on mancha parda disease incidence by *Bipolaris oryzae*. **International Journal Tropical Diseases**, London, v. 2, n. 1, p. 89-98, 1984.

OHATA, K.; KUBO, C.; KITANI, K. Relationship between susceptibility of rice plants to *Helminthosporium* blight and physiological changes in plants. **Bulletin Shikoku Agricultural Experiment Station**, Shikoku, v. 25, p. 15-19, 1972.

OSUMA-CANIZALEZ, F. J.; DE DATTA, S. K.; BONMAN, J. M. Nitrogen and silicon nutrition effects on resistance to brown spot disease of rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 135, n. 2, p. 223-231, 1991.

PIAU, W. C. **Viabilidade do uso das escórias como corretivo e fertilizante**. 1991. 99 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PIAU, W. C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 124 p. Tese (Doutorado em Ciências: Energia Nuclear na Agricultura) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PRADO, H. **Solos tropicais: potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1998. p. 171-183.

PRADO, R. M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo.** 2000. 79 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Eficiência da escória de siderurgia em areia quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. *STAB*, Piracicaba, v. 18, n. 4, p. 39-39, 2000.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 25, p. 201-209, jan./mar. 2001.

PRADO, R. M.; FERNANDES, M. P.; NATALE, W. **Uso de escória de siderurgia no Brasil:** estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001. 67 p.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111 p.

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

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres/POTAFOS, 1991. p. 343.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI NETO, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p.

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant Cell Environment**, Oxford, v. 14, n. 5, p. 85-492, June 1991.

SILVA, S. T. da. **Aspectos morfológicos e fisio-ecológicos da absorção de ácido silícico em *Curatella americana* L. (Dilleniaceae).** 1983. 172 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVEIRA JR, E. G.; PENATTI, C.; KORNDÖRFER, G. H.; CAMARGO, M. S. de. Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar – Usina Catanduva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO – Solo: Alicerce dos Sistemas de Produção, 39., 2003, Ribeirão Preto, SP. **Resumo Expandido...** Ribeirão Preto, 2003. p. 66.

SILVA, J. A. **Plant, mineral nutrition**. New York: Mc Graw-Hill Book, 1983. (Yearbook of Science and Tecnology).

SMITH, J. J.; SANCHEZ, P. A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an oxissol on phosphorus sorptions and ion retention. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 500-505, May/June 1980.

SNYDER G. H.; JONES, D. B.; GASCHO, G. J. Silicion fertilization of rice on Everglabes Histosols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1259-1263, Sept./Oct. 1986.

STUPIELLO, J. P. Cana como matéria prima. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar, cultivo e utilização**. Campinas: Cargill, 1987. v. 2, p. 759-804.

TAKAHASHI, Y. Nutritional studies in the development of Helminthosporium leaf spot. In: SYMPOSIUM ON TROPICAL AGRICULTURE RESEARCHES: rice diseases and their control by growing resistant varieties and other measures, 1967, **Proceedings...** Agriculture, Forestry and Fisheries Reserarch Council, 1967. p. 157-170.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R. et al. (ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. cap. 5, p. 420-433.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. Desenvolvido por Usina3 interativa, 2004. Apresenta informações sobre o setor sucroalcooleiro no Centro – Sul. Disponível em <<http://www.portalunica.com.br>> . Acesso em: 22 fev. 2006.

VOLKWEISS, S. J. Propriedades de solo que afetam a disponibilidade de elementos para plantas e animais. In: SIMPÓDIO LATINO AMERICANO SOBRE PESQUISA EM NUTRIÇÃO MINERAL DE RUMINANTES EM PASTAGENS, 1967. UFMG/UFV/ESAL/EPAMIG/USAID, 1967. p. 358-367.

VITTI, G. C.; DEMATTÊ, J. L. I; ROLIM, J. C.; FURLAM, L. R. **Avaliação de diferentes fontes e doses de silício na cultura da cana-de-açúcar, em relação à produtividade e pol/há**: Relatório final. ESALQ/USP. Piracicaba, 1999. 39 p.

WUTKE, A. C. P.; GARGANTINI, H.; GOMES, A. C. Avaliação das possibilidades de escória siderúrgica como corretivo da acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, n. 45, p. 795-805, ago. 1962.

YAMAUCHI, M.; WINSLOW, M. D. Silica reduces disease on upland rice in a high rainfall area. **IRRI**, v. 12, p. 622-623, 1967.

YASSIN, N.; MORAIS, A. R. de; MUNIZ, J. A. Análise de variância em um experimento fatorial de dois fatores com tratamentos adicionais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p. 1541-1547, dez. 2002. Edição especial.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin National Institute Agronomic Science**, Japan Serie B., v. 15, p. 1-58, 1965.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.