



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE,
QUALIDADE INDUSTRIAL E RESISTÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR À
DOENÇAS E À BROCA DO COLMO

LEONARDO SILVA ARAÚJO

2010

LEONARDO SILVA ARAÚJO

ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE,
QUALIDADE INDUSTRIAL E RESISTÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR À
DOENÇAS E À BROCA DO COLMO

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”.

Orientador:

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

LEONARDO SILVA ARAÚJO

ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE,
QUALIDADE INDUSTRIAL E RESISTÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR À
DOENÇAS E À BROCA DO COLMO

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 03 de novembro de 2010.

Prof. Dr. Lísias Coelho - UFU

Dra. Adriane Andrade Silva - UFU

Dra. Lilian Aparecida de Oliveira - USP/CNPq

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL 2010

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Raimundo Terceiro Rufino de Araújo (“in memorian”) e Maria Aparecida da Silva.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela luz que tem me iluminado durante toda minha caminhada.

Aos meus pais, por todo amor e carinho.

A minha irmã, por ter sido sempre uma fonte de força e positividade.

A minha namorada Tatiane, pelo apoio e paciência.

Ao Professor Dr. Gaspar Henrique Korndörfer, pela oportunidade.

À FAPEMIG e a HOLCIM pelo apoio financeiro.

Aos funcionários da Usina Açucareira Guaíra, em especial ao Sr. Lauro e o técnico de campo Rogério Palhares Alves, fundamentais desde o início até a colheita do experimento.

Aos amigos de pós graduação Robson Thiago Xavier de Souza, Marcos Vieira de Faria, Josielle dos Santos Rezende e especialmente à grande amiga Lucélia Alves Ramos.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa sobre Silício na Agricultura - GPSi, pelo apoio na realização dos trabalhos de campo e de laboratório, em especial à Ricardo Minor, Felipe Spiezzi Raimbault, Gustavo Alves dos Santos e Valéria M. Custódio Santos.

Agradeço, especialmente, à Dr. Lilian Aparecida de Oliveira, pelas casuais orientações e sugestões no decorrer da redação do trabalho.

Obrigado!

EPÍGRAFE

“Se tu lutas, tu conquistas”

Somos Nós a Justiça

RESUMO

ARAÚJO, LEONARDO SILVA. **Escórias siderúrgicas e seus efeitos sobre a produtividade, qualidade industrial e tolerância da cana-de-açúcar a doenças e à broca do colmo.** 2010. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

Nos processos de fundição de ferro-gusa e aço, têm-se como resultado uma grande quantidade de escórias e outros resíduos. Estas escórias podem ser empregadas na agricultura como corretivo de acidez do solo e/ou fonte de silício (Si), elemento este considerado benéfico para as plantas. Este trabalho teve como objetivo testar o efeito da escória siderúrgica, Holcim, na cultura da cana-de-açúcar em comparação à escória certificada, Agrosilício®, em parâmetros relacionados à produtividade, qualidade industrial da cana-de-açúcar e resistência das plantas às doenças e à broca-do-colmo. Para isso, instalou-se um experimento de campo na Usina Açucareira Guaíra, em Guaíra-SP, com a cultura da cana-de-açúcar, variedade SP80-3280, cultivada em solo que recebeu três doses crescentes de ambas as fontes de Si (400, 800 e 1600 kg ha⁻¹) e um tratamento testemunha, sem aplicação de nenhuma das fontes, montados em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x3+1, o que resulta em 7 tratamentos com 4 repetições. Aos 30, 60 e 90 dias após o plantio, realizou-se avaliações do perfilhamento das plantas e, aos 120 e na ocasião da coleta foram realizadas avaliações do comprimento dos colmos. Para a análise de Si foliar, foram realizadas coletas aos 180 e aos 240 dias após o plantio dos toletes de cana-de-açúcar. Na colheita (após um ano) foi realizada também avaliação da severidade das doenças que incidiram e a intensidade dos danos causados pela broca do colmo (*Diatraea saccharalis*). Observou-se que, na camada de 00-15 cm de solo, a concentração de Si aumentou até a dose de 800 kg ha⁻¹ da escória Holcim. Já para as outras camadas do perfil de solo, ambas as fontes não influenciaram na concentração de Si. O mesmo efeito foi observado para os teores foliares de Si, que permaneceram inalterados com a aplicação de ambas as fontes de Si no solo. Já a resistência das plantas, às doenças e à broca do colmo, foi aumentada quando se aplicou ambas as fontes até a dose de 800 kg ha⁻¹ de silicato. Esse mesmo efeito de dose foi observado para a produtividade. Já os parâmetros biométricos, como pureza e teor de fibra do caldo, não foram influenciados pelas doses de silicato, mas para o POL e Brix do caldo, observou-se que o aumento das doses de silicato foi favorável e na dose de 1600 kg ha⁻¹ a Fonte 1 foi superior a Fonte 2. A aplicação das doses de escória não influenciou no ATR (Açúcar total recuperável) e a Fonte 1 se mostrou superior a Fonte 2. Os resultados observados demonstram que, assim como a Fonte 2, a escória Holcim (Fonte 1) apresenta alto potencial para ser utilizada na cultura da cana-de-açúcar, demonstrando, para algumas variáveis, um desempenho até melhor que a fonte de Si já certificada.

Palavras-Chave: Silicato, resíduo industrial e parâmetros biométricos

¹Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer - UFU (Orientador)

ABSTRACT

ARAÚJO, LEONARDO SILVA. **Steel mill slags and their effects on yield, industrial quality and tolerance of sugar cane to diseases and stem borer.** 2010. 53 f. Dissertation (Master in Agriculture / Soils) - Federal University of Uberlandia, Uberlândia¹.

The processes of smelting pig iron and steel produce large amount of slags and other wastes. These slags can be used in agriculture to correct soil acidity and/or as a source of silicon (Si), an element considered beneficial to plants. This study evaluated the effect of siderurgical slag Holcim on the sugar cane crop, compared to the certified slag Agrosilício® by parameters related to yield, industrial quality of the sugar cane and plant resistance to diseases and stem borer. Thus, a field experiment in Guaira Sugar Mill, Guaira-SP was done. The sugarcane variety SP80-3280 was grown in soil with three increasing doses of either Si source (400, 800 or 1600 kg ha⁻¹) and a control treatment without application of any of the sources, in a randomized block design as a 2x3+1 factorial, resulting in seven treatments with four replications. Evaluations of plant tillers were done at 30, 60 and 90 days after planting and those of stem length were done 120 days after planting and at harvest. Analysis of leaf Si was done in samples collected 180 and 240 days after planting. Disease severity and the intensity of stem borer (*Diatraea saccharalis*) damage were done at harvest (after one year). It was observed that in the soil layer of 00-15 cm, Si concentration increased until the dose of 800 kg ha⁻¹ of Holcim slag, while no effect was observed for either source in the other soil layers analyzed. The same effect was observed for leaf Si concentration, which remained unchanged with the application of either Si source to the soil. In contrast, the resistance of plants to diseases and to the stem borer increased when either source was applied up the dose of 800 kg ha⁻¹ slag. The same dose effect was observed for yield. Although biometric parameters such as purity and fiber content of the juice were not affected by the silicate levels, POL and Brix of the juice were favorably affected by greater silicate doses, and at 1600 kg ha⁻¹ Source 1 was better than Source 2. The use of slag dosed did not affect ATR (Total recoverable sugar); however, Source 1 was better than Source 2. The observed results show that similarly to Agrosilício® (Source 2), Holcim slag (Source 1) has high potential to be used in the cultivation of sugarcane, performing, for some variables, even better than the already certified Si source.

Keywords: silicate, industrial waste, biometric parameters.

¹ Supervisor: Gaspar Henrique Korndörfer - UFU

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Fontes de silício para uso na agricultura	13
2.2 Uso das escórias siderúrgicas na agricultura	14
2.3 Uso das escórias siderúrgicas como corretivo de acidez do solo	15
2.4 A cultura da cana-de-açúcar no Brasil	16
2.5 Uso das escórias siderúrgicas como fonte de Si para as plantas	17
2.6 O Si como fator de resistência ao ataque de pragas	17
2.7 Diferentes fontes de Si e resistência das plantas à insetos	20
2.8 O Si como indutor de resistência à doenças	21
2.9 Efeitos do Si na produção e qualidade da cana-de-açúcar	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Localização da área experimental	27
3.2 Caracterização dos atributos químicos e físicos do solo	27
3.3 Tratamentos e delineamento estatístico	28
3.4 Instalação dos experimentos	30
3.5 Variáveis avaliadas	31
3.5.1 Índices biométricos	31
3.5.1.1 Perfilhamento	32
3.5.1.2 Comprimento dos colmos	32
3.5.1.3 Diâmetro dos colmos	33
3.5.2 Amostragem foliar para análises de Si	33
3.5.3 Avaliação da resistência às doenças diversas	33

3.5.4 Avaliação da intensidade de infestação da broca do colmo	34
3.5.5 Avaliações laboratoriais da qualidade industrial da cana-de-açúcar	35
3.5.6 Avaliação da produtividade	36
3.5.7 Análise das concentrações de Si disponíveis no solo	37
3.5.8 Análise estatística	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Índices biométricos	38
4.1.1 Perfilhamento	38
4.1.2 Diâmetro dos colmos	40
4.1.3 Altura das plantas.....	43
4.1.4 Número de entrenós por colmo	45
4.2 Teores foliares de Si.....	46
4.3 Concentrações de Si no solo	47
4.4 Avaliação da resistência às doenças	50
4.5 Avaliação da resistência à broca do colmo	53
4.6 Avaliação da produtividade	54
4.7 Avaliações laboratoriais da qualidade industrial da cana-de-açúcar	56
4.7.1 Índice de pureza do caldo	56
4.7.2 Teor de fibra da cana	58
4.7.3 POL do caldo	59
4.7.4 Brix do caldo	59
4.7.5 Açúcar total recuperável (ATR)	60
5 CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, a atividade industrial gera resíduos sólidos que podem vir a representar sérios riscos ao meio ambiente e ao bem-estar das pessoas. Nos processos de fundição de ferro-gusa e aço, têm-se como resultado uma grande quantidade de escórias e outros resíduos sólidos (PRADO; FERNANDES, 2001). Em razão das possibilidades de risco ambiental, faz-se necessário definir um destino adequado a este resíduo, e se possível empregá-lo em outras atividades essenciais ao homem.

Desde que apresente características corretivas e/ou fertilizantes e não contamine o solo e os mananciais hídricos, uma escória pode perfeitamente ser empregada em atividades agrícolas. Caso comprovado o potencial agrícola de uma escória, esta deve então ser entendida como um subproduto dos processos siderúrgicos e não apenas um resíduo.

Apesar da grande quantidade disponível de resíduos industriais, aproximadamente três milhões de toneladas por ano, no Brasil, estes materiais são pouco empregados na agricultura, diferentemente de outras partes do mundo, como o Japão, onde o emprego dos resíduos é amplamente estudado e aplicado às atividades agrícolas (PRADO; FERNANDES, 2001).

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 (Ca), Magnésio (Mg), Silício (Si), Ferro (Fe) e Manganês (Mn) (PRADO; FERNANDES, 2001). A presença dos silicatos de cálcio e magnésio na composição química das escórias resume a potencialidade de seu uso na agricultura, já que a reação destes materiais no solo promove a correção da acidez do solo (KORNDÖRFER et al., 2004a).

Os silicatos de cálcio e magnésio, além de terem características corretivas, ainda são fontes de silício, cálcio e magnésio para as plantas. O aumento na disponibilidade do Si no solo, e conseqüentemente, o aumento dos teores de Si na planta, resulta em aumentos de crescimento e produtividade de várias culturas, principalmente as espécies gramíneas como arroz, milho, trigo e cana-de-açúcar e algumas culturas não gramíneas como alface, soja, feijão e pepino. Outros efeitos benéficos do Si correspondem ao aumento da resistência ao ataque de pragas e doenças, além de regular a taxa de transpiração e ainda o aumento da eficiência fotossintética (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995).

A cana-de-açúcar, por se tratar de uma espécie gramínea acumuladora de silício, corresponde a uma das culturas onde mais facilmente se percebem os efeitos benéficos anteriormente descritos. Vários trabalhos científicos indicam que a adubação silicatada, realizada corretamente, é capaz de aumentar a produção de cana-de-açúcar. Como as escórias de siderurgia apresentam grande potencialidade em serem utilizadas como corretivo de acidez do solo e fonte de Si para as plantas, faz-se necessário avaliar, em campo, o efeito do uso deste material, para fazer com que este produto deixe de ser considerado apenas como um resíduo da produção industrial e, então, passe a ser entendido como uma ferramenta para incrementar a produção dessa cultura que tem ganhado cada vez mais destaque no cenário econômico nacional e mundial.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a performance da escória siderúrgica Holcim em comparação ao Agrosílico® (silicato de cálcio e magnésio já certificado junto ao Ministério da Agricultura), no que diz respeito a parâmetros relacionados à produtividade, resistência das plantas às doenças e à broca do colmo (*Diatrea saccharalis*).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fontes de Silício para uso na agricultura

Apesar de o silício ser um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e presente em consideráveis quantidades na maioria dos solos, várias classes de solos, principalmente os localizados no Cerrado, são pobres em Si solúvel nos horizontes superiores (RAIJ; CAMARGO, 1973). Nessas condições, provavelmente, pode-se esperar resposta para aplicação de Si em forma de fertilizantes, principalmente em plantas acumuladoras de Si, como é o caso da maioria das gramíneas.

Para suprir a necessidade de Si, resíduos de plantas são, em alguns casos, usados como fontes de Si (casca de arroz e bagaço de cana). Além de serem fontes de liberação lenta de Si, apresentam usos mais nobres como a geração de vapor, no entanto, são insuficientes para atender à demanda por Si na agricultura. Todavia, existem subprodutos da indústria do aço e do ferro gusa, que são as escórias de siderurgia ricas em Si, que poderiam atender essa demanda. As altas temperaturas utilizadas nos processos siderúrgicos liberam o Si de estados cristalinos, presentes no mineral e no fundente, a formas reativas e, conseqüentemente, mais solúveis (COELHO, 1998).

As principais características de uma fonte de Si para fins de uso na agricultura são: alto conteúdo de Si solúvel, propriedades físicas adequadas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, baixo custo, relações e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) equilibradas e ausência de metais pesados. Muitas escórias de siderurgia possuem tais características, e algumas delas são fontes promissoras de Si disponível (KORNDÖRFER et al., 2003).

Vários estudos em campo e em casa-de-vegetação têm sido conduzidos para verificar a eficácia dos produtos utilizados como fontes de silício. De modo geral, o que se observa é que fontes de silício, como Wollastonita, escórias de alto forno (CARVALHO-PUPATTO et al., 2003), agregados siderúrgicos, xisto e termofosfato (PEREIRA et al., 2004), proporcionam incrementos nos teores de Ca e Mg trocáveis e uma elevação do pH do solo, reduzindo a concentração de Al^{+3} fitotóxico. Além do fornecimento de Ca e Mg, é importante mencionar que o uso de silicatos aumenta as concentrações de Si no solo, variando conforme fonte utilizada.

Queiroz (2003), estudando o efeito de várias escórias em solos do cerrado, concluiu que, dentre os vários materiais analisados, a fonte CSN alto-forno apresentou maior liberação de silício para o solo, pelo extrator ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

Em estudo realizado por Silva (2002), em um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, utilizando como fonte a Wollastonita, constatou-se que os teores de silício extraídos em ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, após 56 dias de incubação, aumentaram de $13,4 \text{ mg dm}^{-3}$, no tratamento testemunha, para $39,3 \text{ mg dm}^{-3}$ na dose de 800 kg ha^{-1} , demonstrando a alta capacidade dessa fonte em liberar Si para o solo.

2.2 Uso das escórias siderúrgicas na agricultura

As escórias siderúrgicas resumidamente 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 et al., 2004a). 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 das escórias varia bastante, porém a maioria é formada principalmente por silicato de cálcio (CaSiO_3), silicato de magnésio (MgSiO_3) e elementos como Fósforo (P), Enxofre (S), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Molibdênio (Mo), Cobalto (Co), etc.

A forma final de descarte de um resíduo industrial depende do grau de periculosidade do resíduo sólido, conforme Norma ABNT 10.004 (ABNT, 2004), 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. Entretanto, sendo comprovado o valor agrícola de um determinado resíduo (talvez a melhor nomenclatura, neste caso, seja a de subproduto), ele pode ser utilizado até mesmo com vantagens na agricultura.

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 $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ de escória, principalmente na cultura do arroz, visando os benefícios que o silício traz para esta cultura e os eventuais aumentos significativos 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 deve apresentar granulometria adequada, ação neutralizante da acidez do solo e presença de elementos nutrientes. Além dessas características positivas, a presença de metais pesados deve ser analisada pelo aspecto ambiental de contaminação do solo e das coleções hídricas superficiais e subterrâneas.

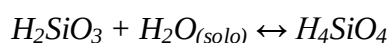
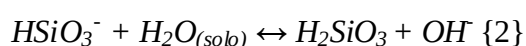
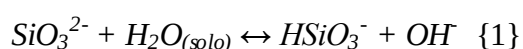
Assim, faz-se necessário a realização de um estudo criterioso do potencial de uso da escória através de ensaios de laboratório, casa de vegetação e no campo, envolvendo culturas de grande importância, como a cultura da cana-de-açúcar.

2.3 Uso das escórias siderúrgicas como corretivo de acidez do solo

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).

Atualmente, 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 e, além disso, as áreas das quais se extraem estes minerais tornam-se totalmente degradadas impedindo que sejam aproveitadas para qualquer outro fim. Assim sendo, as escórias de siderurgia têm ganhado cada vez mais importância na atividade agrícola mundial.

Dentre os principais componentes de uma escória de siderurgia, destacam-se os silicatos de cálcio (CaSiO_3) e de magnésio (MgSiO_3), 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 e Rodella (2003):



As equações demonstram que a hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas (OH^-) que, no solo, reagem neutralizando os prótons (H^+), promovendo a elevação do pH, e ainda reagem com o Al^{3+} presente no solo, formando o hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$, que corresponde a uma forma precipitada e não tóxica aos vegetais.

2.4 A cultura da cana-de-açúcar no Brasil

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção de 612 milhões de toneladas, numa área de 7,5 milhões de hectares (safra de 2009/2010). A Região Centro-Sul participa com 90% da produção nacional e detém aproximadamente 77% da área plantada com esta cultura no país. Ainda com relação a região Centro-Sul, o estado de São Paulo continua sendo o maior produtor, sendo responsável por 54% da área de produção, enquanto que o estado de Minas Gerais detém apenas 7,8% da área sendo responsável por cerca de 8,13% da produção nacional (CONAB, 2010).

A cultura da cana-de-açúcar continua em ascensão no país visto que, em comparação a safra 2008/09, a área plantada em todo território nacional aumentou em 6,7%, elevando-se de 6,12 milhões de hectares, no ciclo 2008/09, para 7,09, em 2009/10. Este crescimento em área ocorre principalmente em função da ocupação de áreas antes utilizadas pela pecuária e pelo plantio de grãos, visto que o sistema de arrendamento de áreas às usinas de açúcar e álcool corresponde a uma alternativa cada vez mais viável a pequenos produtores.

Uma das áreas para onde a cultura da cana tem se expandido corresponde à região dos cerrados que se concentra principalmente nos estados de Goiás e Minas Gerais. Uma prova disso é que na safra 2009/10, no estado de Minas Gerais, os índices de produção foram superiores em 20,1% aos obtidos na safra passada, para isso, a área de produção aumentou em 4% e o índice de produtividade teve um incremento de 15,4% (CONAB, 2010).

Os solos de cerrado apresentam como característica a excessiva acidez e a baixa fertilidade natural, o que torna a agricultura no cerrado altamente técnica e muito dependente da utilização de corretivos de acidez do solo e de fertilizantes. Assim sendo, são áreas com excelente potencial para uso de escórias de siderurgia como corretivo de acidez do solo e fonte de nutrientes às plantas.

2.5 Uso das escórias siderúrgicas como fonte de Si para as plantas

O silício 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 a concentração de Si até o ponto em que a adubação silicatada seja necessária para maximizar a produção (KORNFÖRFER et al., 1999).

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 silício; 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_4SiO_4), que corresponde à forma química pela qual a planta absorve o silício, micronutriente benéfico às plantas (BRASIL, 2004).

A cana-de-açúcar é uma das gramíneas que mais extraem Si do solo (PRADO et al., 2002), com respostas favoráveis à adubação silicatada, particularmente em solos pobres deste elemento, como os solos do cerrado. Não obstante 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 et al., 2002), além de promover alívios de danos causados por geadas, além de promover melhoria na arquitetura das plantas (SAVANT et al., 1999).

2.6 O Si como fator de resistência ao ataque de pragas

A broca do colmo *Eldana saccharina* é a mais importante praga da cana-de-açúcar na África do Sul (KEEPING; MEYER, 2002). Por outro lado, o silício é um elemento frequentemente deficiente em solos arenosos e/ou ácidos. A correção do silício pela adubação pode reduzir o dano da broca *Eldana* em até 64%, por meio de um mecanismo desconhecido que aumenta a resistência da planta (KVEDARAS et al., 2005). Keeping e Meyer (2002), estudando o efeito de diferentes fontes de silício na resistência de quatro

variedades de cana-de-açúcar à *E. saccharina*, observaram um conteúdo mais elevado de silício no colmo das variedades resistentes em relação às suscetíveis. Os autores também notaram que, dentro da mesma variedade, houve tendência a um decréscimo da susceptibilidade com o aumento do nível de silício.

Evidências recentes sugerem que a deposição de silício nas plantas leva à formação de uma barreira mecânica capaz de reforçar a resistência das mesmas ao ataque de insetos e pragas (LIANG; ADANDONON, 2005), além de induzir modificações nas propriedades fisiológicas e bioquímicas, com elevação da produção de substâncias repelentes ou inibidoras por parte das mesmas (MARSCHNER, 1995).

Plantas como a cana-de-açúcar e o arroz, que apresentam altos teores de silício, parecem interferir na alimentação de larvas (brocas), danificando suas mandíbulas. A presença de cristais de silício no tecido vegetal dificulta a alimentação do inseto que, na fase jovem, possui mandíbulas bastante frágeis. Estudos realizados na África do Sul (KVEDARAS et al., 2005) mostraram desgaste da mandíbula em larvas alimentadas com plantas tratadas com silício.

A cada dia que passa, surgem novas evidências do importante papel do Si no aumento da resistência das plantas de cana-de-açúcar ao ataque da broca do colmo (KEEPING; MEYER, 2005). Em um experimento conduzido na África do Sul, visando o aumento da resistência da cana-de-açúcar à broca africana do colmo (*Eldana saccharina*), utilizou-se 6 variedades comerciais de cana-de-açúcar conduzidas sobre a aplicação de 2 doses de silicato de cálcio (2500 e 5000 kg ha⁻¹, equivalente a 425 e 850 kg ha⁻¹ de Si puro, respectivamente) e comparadas com as testemunhas (sem Si). A cana-de-açúcar foi artificialmente infestada com *Eldana saccharina*, aos 9,5 meses de idade e o experimento colhido 6 meses após a infestação. Observou-se que os tratamentos com Si resultaram em significativo aumento da resistência da cana-de-açúcar ao ataque de *Eldana saccharina*. De um modo geral, a massa de brocas e os danos causados pela mesma foram reduzidos em aproximadamente 19 e 33%, respectivamente, quando a dose de Si foi de 2,5 e 5 t ha⁻¹.

A principal praga da cultura da cana-de-açúcar no Brasil é a broca do colmo (*Diatraea saccharalis*). O principal dano causado por esta praga corresponde à abertura de canais no interior do colmo, que reduzem o peso da cana, além de abrir uma porta de entrada para fungos e outros microorganismos que reduzem a qualidade industrial da planta atacada (FIGURA 01), causando assim prejuízos não só em produtividade mas também em rendimento industrial. Gallo et al. (2002) estimam que no nível de infestação

de 1%, as perdas em produtividade são de 0,77%. Já os prejuízos industriais, para este mesmo nível de infestação, correspondem à redução da conversão em açúcar e álcool em 0,25 e 0,20%, respectivamente. Vale lembrar que o nível de controle é de 3%, nível este no qual as perdas estão 2,31% para a produtividade, 0,75% para a conversão em açúcar e em 0,60% para a conversão em álcool.

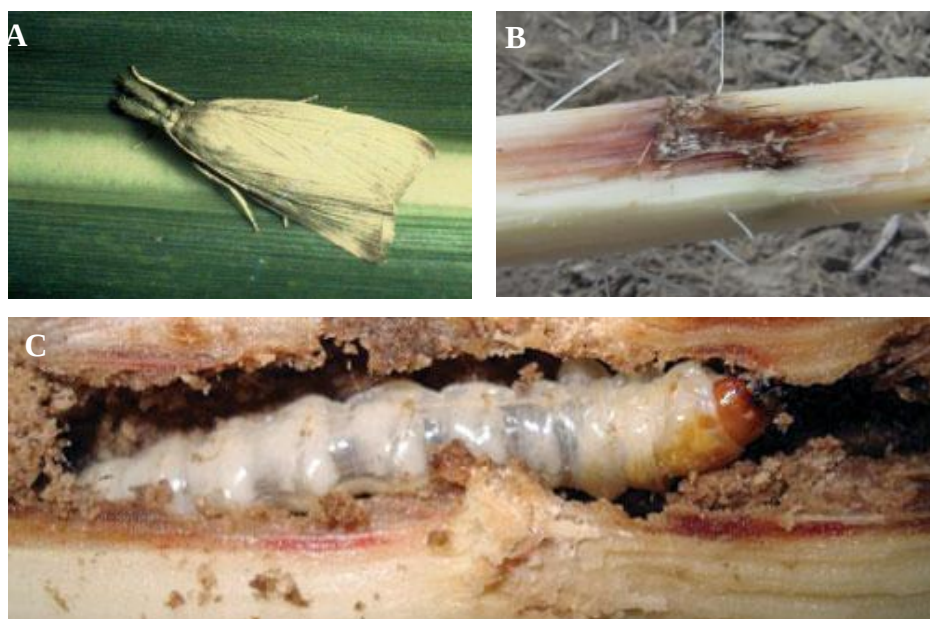


FIGURA 01: Adulto de *Diatraea saccharalis* (A); Dano inicial (B) e avançado (C) no colmo da cana-de-açúcar, (FONTE: Rafaella Rosseto – EMBRAPA)

Tanto a broca africana do colmo, quanto a broca do colmo são da família Pyralidae e portanto apresentam características fisiológicas e morfológicas semelhantes. Desta forma, os resultados satisfatórios obtidos na África do Sul, com o uso do Si como indutor de resistência da cana-de-açúcar a broca-africana, também podem ser obtidos com a broca-do-colmo no Brasil.

Apesar da diversidade de estudos comprobatórios da importância do Si como elemento benéfico para a cana-de-açúcar e como agente indutor de resistência da mesma à pragas e doenças, não há relatos de trabalhos que envolvam o emprego do mesmo na indução de resistência desta cultura à broca do colmo. Assim, caso a escória de siderurgia seja realmente capaz de fornecer Si suficiente para induzir a resistência das plantas de cana-de-açúcar à broca, a adubação silicatada pode então passar a ser considerada uma alternativa para o controle dessa praga.

2.7 Diferentes fontes de silício e a resistência de plantas a insetos

Várias fontes de Si são usadas para fornecer Si ao solo e, assim, aumentar a resistência de plantas aos herbívoros (SAVANT et al., 1999). Os fertilizantes contendo Si podem ser aplicados via solo ou via foliar, sendo os silicatos as principais fontes de Si para as plantas em uso no Brasil.

O silicato de cálcio (CaSiO_3) tem sido freqüentemente utilizado como fonte para aplicação direta no solo em estudos que visam estudar a interação do Si aplicado e seu efeito sobre vários insetos herbívoros, incluindo brocas do colmo (ANDERSON; SOSA, 2001; KEEPING; MEYER, 2002;), insetos que se alimentam no floema (CORREA et al., 2005; GOUSSAIN et al., 2005) e folívoros (REDINOND; POTTER, 2007). Exceto nos dois casos com insetos folívoros, para todos os outros casos, a aplicação de silicato de cálcio produziu uma redução significativa na população do inseto e no dano à planta. Nos casos aonde a aplicação de silicato não resultou em efeitos sobre o inseto ou sobre o dano à planta (REDINOND; POTTER, 2007), também não ocorreu qualquer aumento no conteúdo de silício foliar. Entre estes estudos, a quantidade de silício disponível para as plantas variou entre 10% e 39%, com dosagens que variaram de 1,12 a 10,0 t ha⁻¹.

O silicato de cálcio já foi utilizado também em solução aquosa via foliar em pesquisas com mosca-branca, *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae) (CORREA et al., 2005) e tripes, *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) (ALMEIDA et al., 2008), com reduções significativas na performance do inseto e nos danos à planta.

Em alguns estudos com cana-de-açúcar, a fonte utilizada foi cinzas do bagaço da cana (um subproduto da usina de cana-de-açúcar) e incorporada diretamente no solo como fonte de Si (PAN et al., 1979; KEEPING; MEYER, 2006). As cinzas da cana-de-açúcar são uma fonte inorgânica de silicato de cálcio que inclui pequenas quantidades de silicato de potássio e silicato de magnésio, além de cerca de 40% de carbono (peso seco).

A solução de silicato de sódio (Na_2SiO_3) tem sido uma fonte líquida eficiente em vários estudos da interação Si/inseto (MORAES et al., 2005; HANISCH, 1981). O efeito do silicato de sódio foi positivo quando aplicado, por exemplo, no sorgo sob ataque de pulgões (COSTA; MORAES, 2002).

O silicato de potássio (K_2SiO_3) foi utilizado, em solução, em apenas dois estudos investigando o efeito do Si sobre insetos: com *Tryporyza incertulas* Walker (Lepidoptera:

Pyralidae), em arroz (SUBBARO; PERRAJU, 1976), e o outro com o minador *Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera: Agromyzidae), em crisântemos (PARRELLA; COSTAMANA, 2006). Em ambos os estudos, foi verificada uma redução no desempenho do inseto em um aumento na absorção de silício.

Keeping e Meyer (2006) compararam os efeitos de quatro fontes diferentes de Si incorporados na forma sólida na absorção de Si pela planta e seu efeito na resistência à broca-do-colmo *Eldana saccharina*. As fontes utilizadas tiveram grande influência nos dois parâmetros estudados: absorção e efeito sobre o inseto. Estudos como este demonstram que o elemento Si pode não estar muito disponível para a planta, mesmo com diferentes fontes contendo este elemento em grande quantidade.

Wangen (2007) avaliou o efeito do silício aplicado via solo (CaMgSiO_3) e via foliar (K_2SiO_3) comparado com o controle químico e biológico da cigarrinha-das-raízes, *Mahanarva fimbriolata*, utilizando a cultivar SP80-1816. A autora concluiu que em um dos ensaios houve efeito significativo do silício aplicado via solo (1000 kg ha^{-1} de silicato de cálcio e magnésio) e via foliar (3 aplicações de $8,2 \text{ L ha}^{-1}$ de silicato de potássio) sobre a produtividade da cana soca, comparado ao tratamento testemunha, e que estes tratamentos com silício não diferiram dos controles químico e biológico.

2.8 O Si como indutor de resistência à doenças

Até hoje, foram identificadas 216 doenças que afetam a cana-de-açúcar, sendo que cerca de 58 foram encontradas no Brasil. Dentre estas 58 doenças, pelo menos dez podem ser consideradas de grande importância econômica para a cultura.

Atualmente, as doenças mais importantes são controladas com o uso de variedades resistentes. Porém, o fato de o controle estar embutido nas características agrônomicas da planta faz com que alguns produtores rurais desconheçam o valor da variedade. Entretanto, como a maioria das resistências à doenças nessa cultura é de caráter quantitativo e não qualitativo, ou seja, a resistência não é absoluta, mas gradual, muitas variedades em cultivo podem apresentar certo nível de suscetibilidade a algumas doenças.

As doenças que afetam a cana-de-açúcar são causadas principalmente por fungos e, em um segundo plano, porém não menos preocupante, por bactérias ou vírus.

Entre as doenças fúngicas que trazem preocupações e podem trazer prejuízos no setor canavieiro na região centro-sul do Brasil destacam-se a ferrugem e o carvão. Outras

doenças também foram registradas provocando prejuízos em outra época, ou mesmo em outras regiões do país, como a Podridão Abacaxi (*Ceratocystis paradoxa*), Mancha amarela (*Mycovellosiella koepkei*), a Mancha ocular (*Bipolaris sacchari*), a Podridão vermelha (*Glomerella tucumanensis*), a Podridão de Fusarium e Pokkah-Boeng (*Fusarium moniliforme* e *Fusarium subglutinans*), as Podridões de raízes (Complexos de *Pythium*) e a Podridão de Marasmius (*Marasmius sacchari*). Já dentre as doenças causadas por bactérias, destacam-se a estria vermelha (*Acidovorax avenae*) e o raquitismo da soqueira (Bactéria *Leifsonia xyli* subsp. *Xyli*). Dentre as viróticas, as principais são as causadas pelo vírus do mosaico da cana-de-açúcar e pelo vírus do amarelecimento foliar da cana-de-açúcar (TOKESHI, 1997).

Estes microorganismos podem produzir, também, novas raças ou variantes que vencem essa resistência, e portanto podem vir causar um novo surto de doença. Em função disso e das mudanças climáticas, podem surgir surtos epidêmicos, havendo a necessidade de identificar o nível de severidade das doenças da cana e manter uma contínua vigilância dentro dos canaviais, nos níveis estadual e nacional.

Para a maioria das outras culturas, o controle das doenças é realizado de forma química, isto é, com o uso em larga escala de fungicidas, bactericidas e antibióticos. Apesar de eficiente, o controle químico corresponde a um método que demanda alto investimento e traz consigo uma preocupação ambiental, já que o uso contínuo e indiscriminado dele pode trazer conseqüências irreversíveis ao meio ambiente. Desta forma faz-se necessário identificar novas alternativas para o controle das doenças que afetam não só a cana-de-açúcar, mas também todas as outras culturas de interesse econômico.

Vários estudos vêm sendo conduzidos em todo o mundo visando aumentar a resistência das plantas às doenças com o fornecimento de Si às plantas. Resultados satisfatórios têm sido obtidos com soja (RODRIGUES, 2009), arroz (DATNOFF et al., 2001) e algodão (LIANG et al., 2005), dentre outras.

Os mecanismos de resistência potencializados pelo Si em plantas a patógenos ainda não estão totalmente esclarecidos. A hipótese da formação de uma barreira física abaixo da cutícula após a polimerização do ácido monossilícico explica, embora parcialmente, o aumento da resistência do arroz à brusone (KIM et al., 2002). Essa hipótese vem sendo usada por vários pesquisadores como um dos argumentos para explicar a resistência de algumas espécies de plantas a certos patógenos, quando supridas com Si. Contudo, o

abundante acúmulo de compostos fenólicos, associados com as estruturas de alguns patógenos, como *Pyricularia grisea*, e o aumento na produção de fitoalexina da classe das momilactonas (DATNOFF et al., 2007), a transcrição de alguns genes em arroz associados com a resistência à brusone (RODRIGUES et al., 2005) e o incremento na atividade de enzimas líticas à parede celular fúngica (LIANG et al., 2005) reforçam a hipótese de que o Si potencializa mecanismos de defesa natural das plantas e não atua apenas de forma passiva na resistência.

Na cultura da cana-de-açúcar, os estudos envolvendo os efeitos do Si na resistência das plantas às doenças são reduzidos e colocados em um segundo plano, justamente pelo fato de que até o momento o controle via resistência genética têm sido satisfatório para manter as doenças que afetam a cultura em um nível aceitável. No entanto, já existem algumas evidências de que o Si também atue com sucesso na cana-de-açúcar, aumentando o nível de resistência às algumas doenças.

O silício 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 Hawaí, as folhas contendo menos de 0,5% de silício são frequentemente afetadas por um sintoma denominado "freckling". A causa deste sintoma é, ainda, bastante controvertida, porém a maioria dos pesquisadores atribuem a falta de Si e a desequilíbrios nutricionais.

O aparecimento da ferrugem na cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*) pode estar relacionado com o referido sintoma. Ele é mais severo nas folhas mais velhas e a área fotosintética é, em geral, fortemente atingida. De acordo com (FOX; SILVA, 1978), a aplicação de 6 t/ha de silicato ao solo tem sido suficiente para promover o desaparecimento do sintoma descrito acima.

2.9 Efeitos do Si na produção e qualidade da cana-de-açúcar

A cana de açúcar responde favoravelmente a adubação silicatada, particularmente nos solos pobres nesse elemento. Segundo Korndörfer e Lepsch (2001), os aumentos de produtividade de cana-de-açúcar variaram de 11 a 16%, na cana planta, e de 11 a 20%, na cana soca. O aumento de produtividade observado na cana soca com a aplicação do silicato antes do plantio da cana reforça o grande efeito residual deste produto. O efeito do silício sobre a produtividade pode estar relacionado à maior resistência à seca e ao acamamento e/ou alterações na arquitetura da planta.

Trabalhos de pesquisa desenvolvidos no Havaí, Flórida e Maurícius (ROSS et al., 1974) demonstraram a viabilidade do uso de escória (silicatos) como uma fonte de silício para cana-de-açúcar. Entretanto, para se observar os efeitos desejados do silício sobre a produção, as quantidades de silicato requeridas são normalmente elevadas, geralmente entre 3 e 5 t ha⁻¹.

Experimentos de campo conduzidos no Brasil demonstraram que a aplicação de silício pelo uso de fontes não convencionais, como o cimento, também pode resultar em aumentos de produtividade. Um aumento médio de 14 t ha⁻¹ de colmos foi observado com a aplicação de 4 t ha⁻¹ de cimento aplicado antes do plantio da cana-de-açúcar em Serrana, SP.

Segundo Bair (1966), em solos carentes em silício, a maturação fisiológica da cana atrasa e há uma menor produção de sólidos solúveis no caldo, reduzindo a qualidade industrial da cana. No entanto, é na produção de colmos que se verifica o principal efeito do silício na cana-de-açúcar. Segundo Kidder e Gascho (1977), os aumentos de produtividade variam entre 10 e 35%.

Desta forma, a cana-de-açúcar responde favoravelmente a adubação com Si, particularmente os solos pobres nesse elemento. Ross et al. (1974) citam uma remoção (exportação) de até 408 kg ha⁻¹ de Si para uma produtividade de apenas 74 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar (folhas + colmos). Esta remoção poderia ser ainda maior em áreas intensivamente cultivadas e com maior produtividade.

Wangen (2007) não verificou diferença estatística entre os tratamentos para a produtividade da cana-de-açúcar. A produtividade da cana-de-açúcar, neste experimento, foi de 102,86 t ha⁻¹, no tratamento controle, e 100,66; 103,84; 100,00; 105,74; 107,73; 110,27 e 100,08 nos tratamentos com Silicato de Potássio (uma aplicação de 8,2 L ha⁻¹); Silicato de Potássio (duas aplicação de 8,2 L ha⁻¹); Silicato de Potássio (três aplicação de 8,2 L ha⁻¹); Silicato de Ca e Mg (uma aplicação de 1.000 kg ha⁻¹); Thiamethoxan 250WG (uma aplicação de 0,8 kg ha⁻¹); *M. anisopliae* Pó molhável (duas aplicações de 2,0 kg ha⁻¹); *M. anisopliae* arroz esporulado (duas aplicações de 2,0 kg ha⁻¹), respectivamente.

Rendimentos de cana e açúcar no Havaí obtiveram aumentados entre 10 e 50%, quando o silicato foi utilizado em solos com baixas concentrações de Si (AYRES, 1966). Silva e Casagrande (1983) verificaram um aumento de 6% na produção de cana planta e de 16% na cana soca cultivada em latossolo roxo, com adição de 3 toneladas de silicato de cálcio por hectare.

Outros resultados, bastante consistentes, mostram o efeito do Si sobre a produção, até mesmo nos cortes consecutivos. Anderson e Snyder (1995), com a aplicação de 20 t ha⁻¹ de escória silicatada, observaram um aumento da produção de cana em 38% e de açúcar em 50%, com a aplicação feita no plantio. Avaliações feitas em três cortes consecutivos e, com o uso de escória, reduziram o declínio de produção nos cortes subsequentes em 28,8%, para cana, e 29,2%, para açúcar. O aumento de produção, observado na cana soca com a aplicação do silicato no plantio, comprova o efeito residual deste produto. O efeito do Si na cana-de-açúcar pode estar relacionado à maior resistência ao acamamento e alterações na arquitetura da planta. Plantas adubadas com Si possuem as folhas mais eretas e, em consequência disso, mais eficientes quanto a capacidade de absorção da luz solar e de realizar fotossíntese. Além disso, o Si pode aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico, como demonstrado no trabalho de (FARIAS, 2000). Quanto maior o teor de Si na planta, maior a capacidade das plantas em tolerar a falta de água no solo.

Ayres (1966), trabalhando com cana-de-açúcar, obteve 18% de aumento na produtividade e 22% de aumento na produção de açúcar, com a aplicação de 6,2 t ha⁻¹ de escória de forno elétrico aplicado num latossolo do Havaí.

Na cana-de-açúcar, o Si aplicado no plantio afeta não apenas a produtividade da cana planta, mas também da soqueira. Anderson, et al. (1991) verificaram uma queda na produtividade da cana soca, em relação a cana-planta, de até 45%, quando a cana-planta não foi adubada com Si, e de apenas 28%, quando a cana-planta recebeu adubação no plantio com silicato de cálcio. Esse resultado confirma o significativo efeito residual do silicato, mesmo depois de 2 anos após a aplicação.

Um experimento conduzido com a variedade RB 806043 mostrou que as doses de silicato aumentaram os teores de silício nas folhas da cana de 0,86 para 1,17%, respectivamente, para as doses 0 e 4 t ha⁻¹. O aumento da concentração do silício nas folhas foi, provavelmente, o fator responsável pelos aumentos de produtividade de colmos verificados na cana planta. A aplicação de 4 t ha⁻¹ de silicato na cana planta proporcionou um incremento de 6,6% ou 11 t ha⁻¹ de cana, em relação à testemunha, e de 3,5% ou 6 t ha⁻¹ de cana, em relação ao tratamento com calcário. Na safra de 2002 (2º corte), sem haver reaplicação dos tratamentos, o aumento de produção foi ainda maior, 11,4% ou 12 t ha⁻¹ de cana, em relação à testemunha, e 11% ou 11,6 t ha⁻¹ de cana, em relação à mesma dose de calcário. Baseado nestes resultados, Silveira Júnior et al. (2003) concluíram que o silicato

de cálcio se mostrou superior ao calcário na produção de cana-de-açúcar, provavelmente devido à presença de silício na composição do silicato.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

Com o objetivo de se avaliar a viabilidade técnica do uso da escória siderúrgica Holcim, como fonte de Si às plantas de cana-de-açúcar, foi instalado um experimento em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar. O plantio foi realizado após a colheita da soja, cultura esta utilizada em rotação com a própria cana-de-açúcar. O experimento foi instalado na Fazenda Avenida, gleba 4162, com a variedade comercial SP80-3280, sendo o plantio e consequentemente a instalação, realizados no dia 23 de abril de 2008. A área experimental pertence à área de produção agrícola da Usina Açucareira Guaíra, no município de Guaíra-SP.

A área é agronomicamente viável para a produção de cana-de-açúcar, já que tem o seu ambiente de produção classificado como “A”. A classificação de áreas em diferentes ambientes baseia-se em características físicas, químicas e biológicas do solo, além das condições climáticas da área, e tem como objetivo estabelecer parâmetros que possam determinar qual a potencialidade de uma determinada área para a produção de cana-de-açúcar. A classificação varia de A até E, sendo que o Ambiente A é o que apresenta o maior potencial para a produção (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

3.2 Caracterização dos atributos químicos e físicos do solo

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Férrico (EMBRAPA, 1999). Com o objetivo de realizar a caracterização química e física deste solo, realizou-se, antes da instalação dos experimentos, a amostragem do mesmo. Para isso, foram coletadas cinco amostras compostas, as quais se constituíram de cinco sub-amostras, nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm. Posteriormente, estas amostras foram divididas em duas e encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solo do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, para caracterização química e física (TABELAS 01 e 02).

As amostras do solo também foram encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, para

caracterização do mesmo quanto às concentrações de Si. Destaca-se que utilizou-se, como extrator do Si, o CaCl_2 , conforme metodologia proposta por Korndörfer et al (2004b).

TABELA 01. Caracterização química da amostra de Latossolo Vermelho Férrico, da área experimental, Uberlândia, MG – 2009

Prof.	pH	P	K	Si	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SB	t	T	V	M	M.O.
cm	CaCl_2	-- mg dm ⁻³ --					cmol _c dm ⁻³				---	%	g kg ⁻¹
00-20	4,92	9,2	2,7	10,8	1,20	25,5	10,1	38,3	39,5	74,0	49,5	3,13	31
20-40	5,03	3,3	1,0	8,9	2,44	18,9	6,8	26,7	29,1	59,2	42,9	8,3	19

Prof = profundidade; P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H_2SO_4 0,0125 mol L⁻¹) P disponível (extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, M.O. = Método Colorimétrico.

TABELA 02. Caracterização física do Latossolo Vermelho Férrico da área experimental, Uberlândia, MG – 2009

Profundidade	Areia	Silte	Argila
		g kg ⁻¹	
0-20 cm	420,9	332,8	246,3

Análise realizada pelo método da proveta.

3.3 Tratamentos e delineamento estatístico

Para avaliar a eficiência da escória siderúrgica Holcim como fonte de Si às plantas, utilizou-se como produto padrão a fonte Agrosilício[®], produzida e comercializada pela Harsco do Brasil S/A. O produto corresponde a um subproduto oriundo do tratamento térmico da escória de aço inox. Após estudos intensos, este resíduo obteve a autorização do órgão ambiental FEAM e registro junto ao Ministério da Agricultura para ser utilizado como corretivo de acidez do solo e/ou fonte de silício para as plantas, sendo, portanto utilizado a anos em lavouras comerciais com eficiência agrônômica reconhecida e comprovada (DALTO, 2003; QUEIROZ et al., 2009; RAMOS et al., 2006; SANCHES, 2003).

Com o objetivo de se facilitar o entendimento do trabalho e dos resultados obtidos, a escória Holcim passou a ser identificada como Fonte 1 e o Agrosilício[®] como Fonte 2.

A Tabela 03 traz a caracterização química das fontes utilizadas e, portanto, servem como um parâmetro para comparação de uma fonte já conhecida (Agrosilício[®]) e a fonte

avaliada (Escória Holcim) para as principais características de um corretivo de acidez do solo que também atue como fonte de Si às plantas.

TABELA 03. Caracterização das fontes com relação aos teores de CaO, MgO, PN, ER, PRNT e Si, Uberlândia, MG - 2009

Fontes	CaO	MgO	PN	ER	PRNT	Si total ¹	Si solúvel ²
	----- % -----						
Agrosilício [®]	38,1	10,9	92,2	70,9	65,4	9,0	3,3
Escória Holcim	44,9	7,1	100,8	99,8	100,6	11,9	0,3

¹Silício total em ácido fluorídrico concentrado.

²Silício solúvel extraído após cinco dias em contato com o extrator (carbonato de sódio + nitrato de amônio - Na₂CO₃+NO₃NH₄).

Insumos agrícolas ou resíduos industriais utilizados com finalidade corretiva ou nutricional na agricultura podem ser também uma fonte de contaminação do solo por metais pesados. Adições globais de metais pesados ao solo por fertilizantes são da ordem de 30.000–250.000 kg ano⁻¹ de Cd, 50.000–580.000 kg ano⁻¹ de Cu, 30.000–380.000 kg ano⁻¹ de Cr, 200.000–550.000 kg ano⁻¹ de Ni, 420.000–2.300.000 kg ano⁻¹ de Pb e 260.000–1.100.000 kg ano⁻¹ de Zn (NRIAGU; PACYNA, 1988). Desta forma, além da caracterização quanto aos teores de Si, Ca e Mg que dão o potencial de uma escória ser utilizada como corretivo de acidez do solo e/ou fonte de Si às plantas, faz-se também necessário quantificar os teores de metais pesados desta fonte, já que grande parte das escórias de siderurgia são contaminadas por estes elementos e podem, portanto, atuar como um veículo de contaminação do solo.

A Tabela 04 mostra a porcentagem de cada um dos metais pesados, tanto do Agrosilício[®], quanto da escória Holcim.

TABELA 04. Caracterização das fontes com relação aos teores de Cu, Fe, Zn, Mn, Cd, Cr, Ni e Pb, Uberlândia, MG - 2009

Fontes	Cu ¹	Fe ¹	Zn ¹	Mn ¹	Cd ¹	Cr ¹	Ni ¹	Pb ¹
	----- % -----							
Agrosilício [®]	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0
Escória Holcim	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0

¹Digestão ácida HCl 1:1.

Observa-se que na escória Holcim, assim como no Agrosilício®, os teores de Cu, Zn, Cd, Cr e Pb são inferiores a 0,1%. Com relação aos teores de Fe e Mn, estes na escória Holcim são bem próximos dos teores quantificados no Agrosilício®. Com relação ao teor de Ni, na escória o teor foi inferior a 0,1%, enquanto que na fonte padrão (Agrosilício®) este se encontrava em torno de 0,2%. Desta forma, com base nesta caracterização química, pode-se concluir que a escória Holcim atende a todos os parâmetros para que, caso agronomicamente viável, possa ser utilizada na agricultura sem que exista o risco de contaminação do solo por metais pesados. Até o momento, não há dados que permitam indicar níveis de tolerância desses elementos indesejáveis nos fertilizantes (ALCARDE; RODELLA, 2003).

Os tratamentos estabelecidos consistiram na aplicação de doses crescentes de 400, 800 e 1600 kg ha⁻¹, tanto da escória Holcim, quanto do Agrosilício®. Foi estabelecido ainda um tratamento testemunha, no qual não houve aplicação de nenhuma das fontes de Si, com o objetivo de se constatar a importância do Si para a variedade de cana-de-açúcar utilizada, já que a resposta das plantas a este elemento varia de acordo com a espécie e até entre diferentes genótipos de uma mesma espécie.

Assim sendo, adotou-se o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x3+1, sendo duas fontes de Si, aplicadas em 3 doses crescentes mais um tratamento adicional sem aplicação de nenhuma fonte de Si, o que resulta em 7 tratamentos com 4 repetições.

Cada unidade experimental foi composta por 5 linhas de cana-de-açúcar com 15 m de comprimento cada, utilizando-se o espaçamento de 1,50 m, o que resulta em uma área total de 112,5 m². Entretanto, para anular o efeito de bordaduras, para todas as variáveis analisadas, considerou-se como área útil da parcela apenas as 3 linhas centrais, desprezando-se ainda 1 m de cada uma das extremidades e resultando em uma área útil de 58,5 m².

3.4 Instalação dos experimentos

Após a colheita da soja, realizada no fim do mês de março, e da amostragem pré experimental dos solos, iniciou-se a instalação do experimento com o preparo do solo que consistiu em uma subsolagem seguida de grade niveladora até que as áreas se mostrassem uniformes. Posteriormente ao preparo do solo, no dia 20/04/2008 realizou-se a prática da

calagem, realizada em taxa variável e, em seguida, a abertura dos sulcos de plantio através do uso de um sulcador simples.

Com os sulcos já abertos, realizou-se a aplicação do inseticida Regent® (Fipronil - 800 g kg⁻¹), na dose de 0,2 kg ha⁻¹, com o intuito de prevenir os toletes de cana da ação de pragas como cupins e formigas, principalmente.

Com relação à adubação de plantio com macronutrientes, utilizou-se o MAP (11-52-00), na dose de 250 kg ha⁻¹. Para a adubação de micronutrientes, utilizou-se o composto Starter® (S 4%; Mn 5%; Zn 3%; B 0,3%; Cu 0,3%; Mo 0,05%; N 10% de densidade 1,31), na dose de 12 L ha⁻¹.

Ainda no sulco de plantio, aplicou-se o promotor de crescimento Stimulate® (regulador de crescimento composto pelos hormônios ácido giberélico - giberelina 0,005%, ácido indolbutírico - auxina 0,005% e cinetina - citocinina 0,009%), na dose de 0,5 L ha⁻¹.

Em seguida, aplicou-se então as fontes de Si, nas doses pré-estabelecidas para cada parcela. A aplicação foi realizada a lanço de modo que a distribuição permanecesse o mais uniforme possível na superfície dos sulcos de plantio.

Após a aplicação dos silicatos, realizou-se então o plantio dos toletes de cana-de-açúcar, de forma manual e respeitando-se a densidade de plantio de 15 gemas viáveis m⁻¹.

Finalizado o plantio, promoveu-se então a cobertura dos toletes com uma camada de solo de aproximadamente 4 cm de espessura. Após a brotação da cana-de-açúcar, através da prática do “quebra lombo”, nivelou-se novamente o solo das áreas mantendo-as uniformes até o fim do experimento.

3.5 Variáveis avaliadas

3.5.1 Índices biométricos

De acordo com Landell e Silva (1995), os parâmetros biométricos permitem a estimativa de produtividade agrícola. Consideram-se como componentes da produtividade da cana-de-açúcar a capacidade de perfilhamento, o comprimento dos colmos e os diâmetros dos colmos nos terços inferior, médio e superior. Todos eles são caracteres governados geneticamente que, porém, estão sujeitos à influência ambiental (SKINNER, 1967).

A análise de crescimento é considerada um método padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura em seu ambiente de produção (MAGALHÃES, 1979). É um método que descreve as condições morfo-fisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo e pode ser usado para investigar o efeito de fenômenos ecológicos sobre o crescimento, como a adaptabilidade de uma espécie vegetal em ecossistemas diversos, efeitos de competição, diferenças genotípicas da capacidade produtiva e a influência de práticas agrônomicas sobre o crescimento (MAGALHÃES, 1979; PEREIRA; MACHADO, 1987; BENINCASA, 1988).

Como os índices biométricos são determinados pelas características do ambiente de produção, pode ser que variações na disponibilidade de Si as plantas possam interferir sobre estes parâmetros e afetar, conseqüentemente, a produtividade da cana-de-açúcar. Assim sendo, estes três principais índices biométricos foram avaliados nos dois experimentos.

3.5.1.1 Perfilhamento

O perfilhamento consiste na formação de vários colmos a partir de uma única planta. É um dos fatores mais importantes dentro da cultura da cana-de-açúcar, pois é ele que determina o número de colmos para a produção açucareira (CAMARGO, 1970). Aos 30, 60 e 90 dias após o plantio (21/05/2008, 20/06/2008 e 22/07/2008), foram realizadas avaliações do perfilhamento das plantas. A avaliação consistiu na simples contagem do número de perfilhos ao longo dos 13 metros de comprimento das 3 linhas centrais de cada unidade experimental (área útil da parcela). Ao fim das avaliações, foi obtida uma estimativa do número médio de perfilhos por metro linear para cada um dos tratamentos.

Nas mesmas ocasiões, eram identificadas e quantificadas falhas de brotação superiores a 1 metro de comprimento, para que estas áreas fossem então descontadas na área útil da parcela para avaliação da produtividade.

3.5.1.2 Comprimento dos colmos

O comprimento dos colmos foi obtido através da medida (m) de 20 colmos escolhidos arbitrariamente na área útil da parcela. Sendo esta medida correspondente a

altura do colmo desde o nível do solo até o TVD (*top visible dewlap*), isto é, último *dewlap* visível, que geralmente corresponde à terceira folha a partir do ápice. Foram realizadas duas avaliações do comprimento dos colmos, sendo que a primeira destas ocorreu aos 240 dias após o plantio (19/12/2008) e a segunda na ocasião da colheita (12/08/2009).

3.5.1.3 Diâmetros dos colmos

Após o plantio, selecionou-se arbitrariamente 20 colmos por parcela e, com auxílio de um paquímetro convencional, mediu-se o diâmetro (cm) dos colmos no seu terço inferior, mediano e superior.

3.5.2 Amostragem foliar para análise de Si

Durante o desenvolvimento das plantas em duas ocasiões, foram coletadas 20 folhas por parcela para avaliação dos teores foliares de Si. As amostragens foram realizadas aos 180 e aos 240 dias após o plantio dos toletes de cana-de-açúcar (20/10/2008 e 19/12/2008). Cada amostra compôs-se de 20 folhas (folhas +1, primeira folha do ápice para a base da planta com o *dewlap* completamente visível). Tais folhas foram enviadas ao Laboratório de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia, onde foram lavadas em solução de água e detergente neutro e posteriormente enxaguadas em água corrente e, por último, em água destilada. Retirou-se a nervura central de cada uma das folhas e as acondicionou em sacos de papel com furos, colocando-as para secar em estufa de circulação de ar, a 65 °C, até atingirem o peso constante. Após seco, o material foi moído em moinho tipo Willey e acondicionado em sacos plásticos identificados, até o momento da realização da análise, seguindo a metodologia proposta por Korndörfer et. al. (2004b).

3.5.3 Avaliação da resistência às doenças diversas

No momento da colheita, foram selecionadas arbitrariamente 20 folhas do terço mediado dos colmos para avaliação da severidade das doenças que incidiram nas plantas. Com o intuito de se observar o efeito do Si no aumento da resistência das plantas a organismos fito patogênicos, nenhuma doença foi avaliada separadamente, mas apenas a severidade conjunta de todas as que incidiram nas áreas experimentais. A avaliação da

severidade das doenças foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Purdy e Dean (1981), que se baseia no uso de um gabarito (FIGURA 02) que atribui notas as folhas de acordo com a severidade das doenças. As notas variam de 1 a 10, sendo que a medida que aumentam, maior é a área foliar danificada em função de doenças que incidem na cana-de-açúcar, como por exemplo, escaldadura-das-folhas, ferrugem da cana, mancha parda e fusariose.

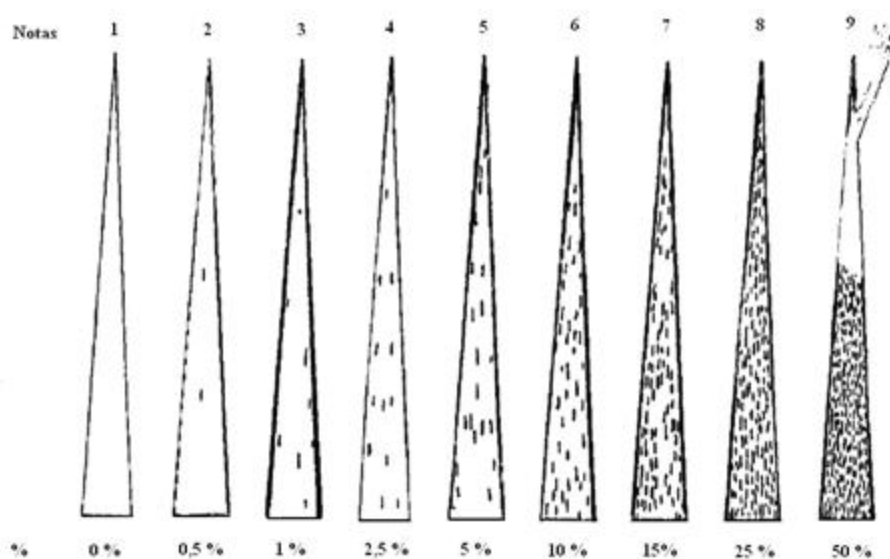


FIGURA 02. Gabarito de notas atribuídas às folhas, de acordo com a % de severidade das doenças da cana.

3.5.4 Avaliação da intensidade de infestação da broca do colmo

Após a colheita de todas as unidades experimentais, foram separados arbitrariamente 20 colmos por parcela para avaliar a intensidade dos danos causados pela broca do colmo (*Diatraea saccharalis*). A avaliação se inicia com a identificação de cada um dos colmos, com números de 1 a 20. Posteriormente, cada um dos colmos é quantificado quanto ao número de entrenós. Em seguida, com o uso de facões de corte, os colmos amostrados foram cortados longitudinalmente e então se realizou a contagem do número de entrenós danificados pela ação das larvas do inseto. De posse do número total de entrenós e do número de entre nós brocados de cada um dos colmos, procedeu-se então o cálculo da porcentagem de entrenós brocados (FIGURA 03).



FIGURA 03. Avaliação da intensidade da infestação de broca-do-colmo.

3.5.5 Avaliações laboratoriais da qualidade industrial da cana-de-açúcar

Na ocasião da colheita da cana-de-açúcar, coletaram-se, ao acaso, dez plantas seguidas na linha central de cada parcela experimental. Estas dez plantas e colmos foram devidamente identificados e levados ao Laboratório de Análises Tecnológicas da Usina Açucareira Guaíra, para análise dos parâmetros tecnológicos da cana: ATR, Brix do Caldo, Fibra da Cana, Pol do Caldo e Pureza da Cana. Para tanto, adotou-se a metodologia empregada pela Usina Açucareira Guaíra, a qual segue os métodos descritos por Glória e Rodella (1972) e COPERSUCAR (1980).

Conforme Fernandes (2003), a definição e terminologia dos parâmetros supramencionados estão descritos abaixo:

ATR (Açúcares totais recuperáveis): representa a quantidade de todos os açúcares da cana na forma de açúcares redutores ou invertidos (ATR), recuperados da cana até o xarope, ou seja, é o resultado da diferença entre o ATR da cana e as perdas na lavagem da mesma, bagaço final, torta dos filtros e “indeterminadas”.

Brix do Caldo: expressa a porcentagem peso/peso dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose, ou seja, mede o teor de sacarose na solução. Por consenso, admite-se o brix como a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em solução açucarada impura, por exemplo, o caldo extraído da cana.

Fibra da Cana: é a matéria insolúvel em água contida na cana.

Pol do Caldo: representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares (por exemplo, o caldo da cana), sendo determinada por métodos sacarimétricos (polarímetros e sacarímetros), baseado na propriedade que os açúcares possuem de desviar a luz polarizada, ou seja, aquela que vibra em uma única direção.

Pureza do Caldo: porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis.

3.5.6 Avaliação da produtividade

A colheita da cana-de-açúcar foi realizada no dia 12/08/2009. Para a obtenção da produtividade de colmos, cada unidade experimental, teve sua área útil colhida manual e individualmente e, em seguida, os colmos foram pesados, com auxílio de uma célula-de-carga de tração (Técnica D-5000) com capacidade de 1000 kg (FIGURA 04).



FIGURA 04. Pesagem dos colmos da cana-de-açúcar.

Adicionou-se ao peso obtido dos colmos colhidos em cada uma das parcelas experimentais, aquele proveniente das dez canas empregadas nas análises dos parâmetros tecnológicos. O peso total em kg parcela^{-1} foi convertido em t ha^{-1} .

3.5.7 Análise das concentrações de Si disponíveis no solo

Após a colheita da cana-de-açúcar, coletaram-se amostras de solo de cada parcela experimental para análise da concentração de Si disponível. Para tanto, descartou-se 1,0 m das bordas anteriores e posteriores das mesmas. Cada amostra compôs-se de cinco sub-amostras, quatro retiradas da entrelinha e uma da linha de cultivo, na profundidade de 0-20 cm. As mesmas foram encaminhadas ao Laboratório de Fertilizantes do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, onde foram secas em estufa de circulação forçada a 45 °C, até atingirem peso constante, depois do que foram trituradas manualmente, com o auxílio de um rolo de madeira, passadas em peneira de 2 mm e submetidas à análise, conforme metodologia descrita por Korndörfer et. al. (2004b)

3.6 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos a análises de variância, com a aplicação do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000). Quando do Teste F significativo, as médias foram comparadas, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância. Já para as doses crescentes das fontes de Si utilizadas, realizou-se análise de regressão, também a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Índices biométricos

4.1.1 Perfilhamento

Observa-se que, para o perfilhamento das plantas e 30 dias após o plantio, não houve diferença entre as fontes e nem entre as doses das fontes (TABELA 05).

TABELA 05. Perfilhamento das plantas, 30 dias após o plantio, em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses	Dias após o plantio (D.A.P)								
	30			60			90		
	Fonte 1	Fonte 2	Média	Fonte 1	Fonte 2	Média	Fonte 1	Fonte 2	Média
kg ha ⁻¹	----- Perfilhamento (perfilhos m ⁻¹) -----								
0	11,8	11,8	11,9	12,0	12,0	12,0	11,2 a	11,2 a	11,2
400	12,3	11,6	12,0	13,0	12,0	12,5	11,5 a	10,1 b	10,9
800	11,9	11,8	11,9	12,3	12,8	12,6	10,2 b	11,5 a	10,9
1600	12,6	12,6	11,7	13,1	13,1	13,1	11,6 a	12,0 a	11,8
Análise de regressão	N.S			*			N.S	N.S	
Média	12,2 A	12,0 A		12,6 A	12,5 A		11,2	11,2	

N.S: Análise de regressão não significativa, a 5% de probabilidade. * Análise de regressão significativa para o modelo linear. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Já na avaliação de perfilhamento, realizada aos 60 dias após o plantio, não foi verificada diferença entre as fontes (TABELA 05). Entretanto, as doses influenciaram tal variável sendo que a quantidade média de perfilhos esperada sem a aplicação de escória é de 12,104 e, para cada 1 tonelada de escória aplicada, espera-se um incremento de 0,7 perfilhos (FIGURA 05). Observou-se um aumento de 3,8% na quantidade de perfilhos, na avaliação realizada 60 dias após o plantio, quando comparada a avaliação feita aos 30 dias após o plantio.

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⁻¹, respectivamente,

superiores às obtidas com a testemunha (cana-planta = 89 e cana-soca = 58 t ha⁻¹). Prado e Fernandes (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 CaCO₃ iguais a 1,3; 3,6 e 7,5 t ha⁻¹. Para o perfilhamento, a resposta da cana-de-açúcar (média de dois cortes) linear em função da aplicação do calcário e da escória.

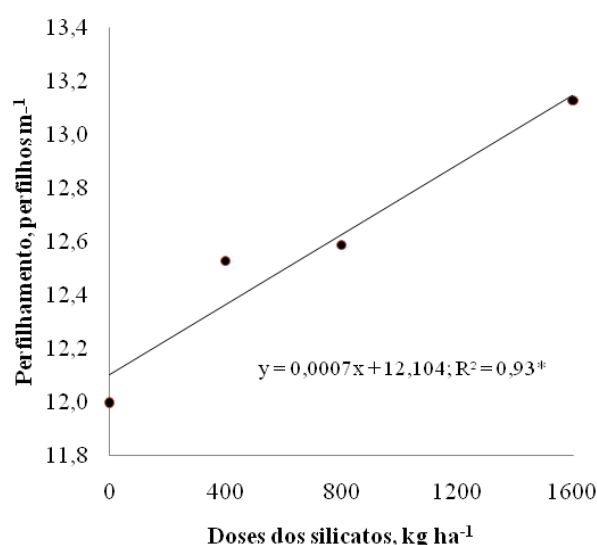


FIGURA 05. Influência da aplicação de doses e fontes de Si sobre o perfilhamento das plantas, aos 60 dias após o plantio (média de duas fontes).

Independentemente da fonte de Si utilizada, observa-se que, com o aumento da dose aplicada, o número de perfinhos por metro linear aumenta linearmente. Não há relatos de que exista correlação entre o aumento da disponibilidade de Si e o aumento do perfilhamento.

Para a avaliação realizada aos 90 dias após o plantio, houve diferença entre as fontes nas doses de 400 e 800 kg ha⁻¹ de escória, sendo que a Fonte 1 foi superior a Fonte 2, na dose de 400 kg ha⁻¹, e a Fonte 2 superior a Fonte 1, na dose de 800 kg ha⁻¹ (TABELA 05).

Nesta última avaliação, observa-se que o aumento das doses não interferiram sobre o perfilhamento das plantas de cana-de-açúcar. Provavelmente, isso se deve ao fato de que, aos 60 dias após o plantio, as plantas já haviam atingido o seu perfilhamento máximo, visto

que este tende a diminuir após atingir este estágio. Tokeshi (1986) ressalta que, na curva de perfilhamento da cana-de-açúcar, o seu ponto máximo ocorre, em geral, entre quatro e seis meses de crescimento, no caso da cana planta. Quando os perfilhos maiores atingem em torno de 50 cm de altura, inicia-se a concorrência por luz, água e nutrientes dentro e entre plantas. A tendência é de estabilizar-se o número de perfilhos e mais tarde, com o crescimento dos colmos dominantes, o seu número decresce com a eliminação dos mais fracos, doentes e mal posicionados. Assim sendo, para a variedade utilizada e nas condições as quais as plantas foram submetidas, o perfilhamento aumentou até os 60 dias após o plantio. A partir deste ponto, passou a decrescer até atingir os índices observados aos 90 dias após o plantio.

4.1.2 Diâmetro dos colmos

A seguir, seguem os valores do diâmetro do colmo no terço inferior das plantas, com a aplicação das escórias (TABELA 06).

TABELA 06. Diâmetro dos colmos no terço inferior, médio e superior das plantas (cm), em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses	Diâmetro dos colmos								
	Terço inferior			Terço médio			Terço superior		
	Fonte 1	Fonte 2	Média	Fonte 1	Fonte 2	Média	Fonte 1	Fonte 2	Média
kg ha ⁻¹	Diâmetro médio dos colmos (cm)								
0	3,1	3,1	3,1	3,0 a	3,0 a	3,0	2,7 a	2,7 a	2,7
400	3,2	3,3	3,2	3,1 b	3,2 a	3,1	2,7 a	2,7 a	2,7
800	3,3	3,4	3,4	3,2 a	3,1 b	3,2	2,9 a	2,7 b	2,8
1600	3,3	3,3	3,3	3,2 a	3,1 b	3,2	2,8 a	2,8 a	2,8
Análise de regressão			**	**	**		**		
Média	3,2 A	3,2 A		3,1	3,1		2,8	2,7	

N.S: Análise de regressão não significativa, a 5% de probabilidade. * Análise de regressão significativa para o modelo linear. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

O diâmetro do colmo, sem a aplicação da escória é de 3,05 cm e há incremento nesse valor até a dose de 1000 kg ha⁻¹. Após essa dose, os valores tendem a diminuir (FIGURA 06). Não houve diferença entre as fontes, nessa variável (TABELA 06).

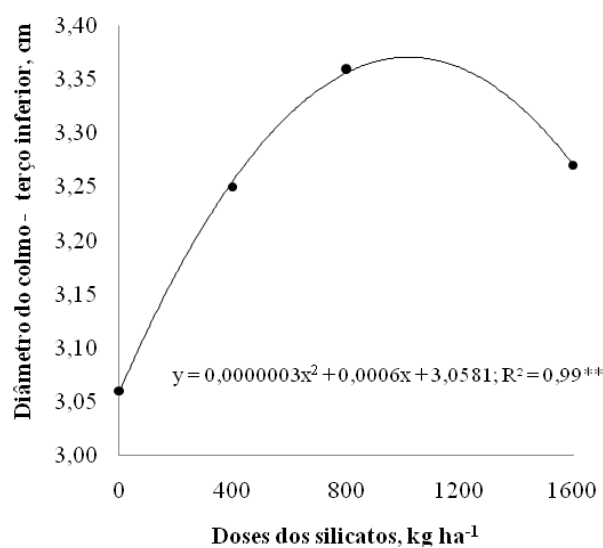


FIGURA 06. Influência da aplicação de doses crescentes dos silicatos sobre o diâmetro do colmo no terço inferior das plantas (média de duas fontes).

Quando analisado o diâmetro dos colmos no terço médio das plantas, verificou-se que, na dose de 400 kg ha⁻¹, a Fonte 2 foi superior a Fonte 1, mas, nas doses de 800 e 1600 kg ha⁻¹, a Fonte 1 apresentou os maiores valores, se comparada com a Fonte 2 (TABELA 06).

Com aplicação das doses da Fonte 1 observou-se aumento no diâmetro do colmo, sendo que o maior valor foi observado com a aplicação de 1111 kg ha⁻¹ da escória. Já aplicando doses da Fonte 2, espera-se um incremento no diâmetro do colmo até a dose de 1000 kg ha⁻¹ (FIGURA 07).

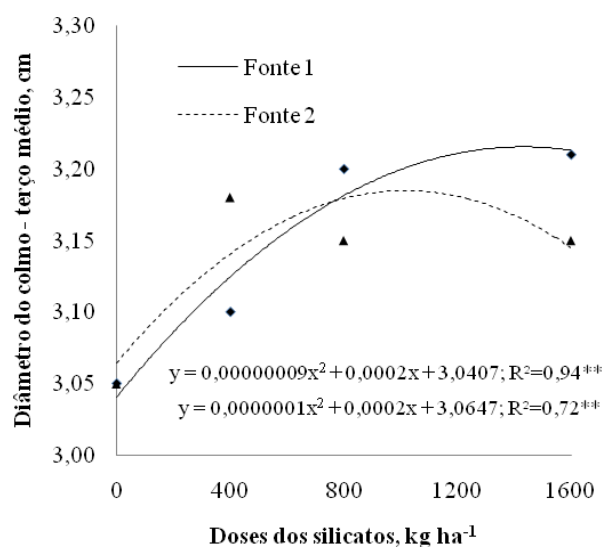


FIGURA 07. Influência da aplicação de doses crescentes de fontes de Si sobre o diâmetro do colmo no terço médio das plantas

As fontes só se diferenciaram no diâmetro dos colmos no terço superior na dose de 800 kg ha⁻¹, sendo que a Fonte 1 apresentou o maior valor (TABELA 06). Com a aplicação das doses de Fonte 2, esperou-se um incremento de 3×10^{-5} cm, para cada 1 kg de Fonte 2, e com a aplicação da Fonte 1, esperou-se um incremento no diâmetro do colmo até a dose de 1000 kg ha⁻¹ (FIGURA 08).

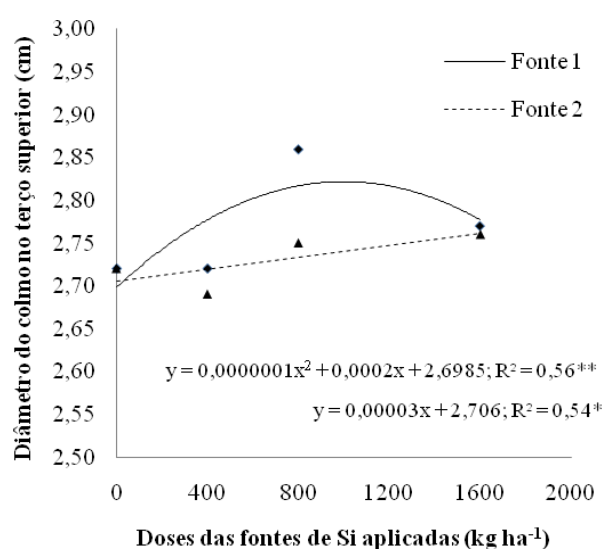


FIGURA 08. Influência da aplicação de doses de fontes de Si sobre o diâmetro do colmo no terço superior das plantas

4.1.3 Altura das plantas

Para a avaliação da altura das plantas, aos 240 dias após o plantio, observou-se que, independentemente das doses aplicadas, as plantas tratadas com a Fonte 2 mostraram-se maiores do que as tratadas com a Fonte 1 (TABELA 07).

TABELA 07. Altura das plantas (m), aos 240 dias após o plantio, em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Altura das plantas aos 240 D.A.P (m) -----		
0	2,50	2,50	2,50
400	2,56	2,60	2,58
800	2,54	2,57	2,55
1600	2,57	2,66	2,61
Análise de regressão			*
Média	2,5 B	2,6 A	

* Análise de regressão significativa para o modelo linear. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Essa observação se repetiu quando avaliou-se a altura das plantas no momento da colheita, isto é, as plantas desenvolvidas sobre o solo que recebeu a aplicação do Fonte 2 mostraram-se maiores quando comparadas às que se desenvolveram sobre o solo que recebeu a aplicação da Fonte 1.

TABELA 12. Altura das plantas (m) no momento da colheita, em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Altura das plantas no momento da colheita (m) -----		
0	3,35	3,35	3,35
400	3,38	3,45	3,41
800	3,35	3,46	3,41
1600	3,43	3,59	3,51
Análise de regressão			*
Média	3,38 B	3,46 A	

* Análise de regressão significativa para o modelo linear. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Em ambas avaliações (240 dias após o plantio e na colheita), observou-se que, independentemente da fonte utilizada, o silício aplicado aumentou linearmente a altura das plantas (FIGURA 09).

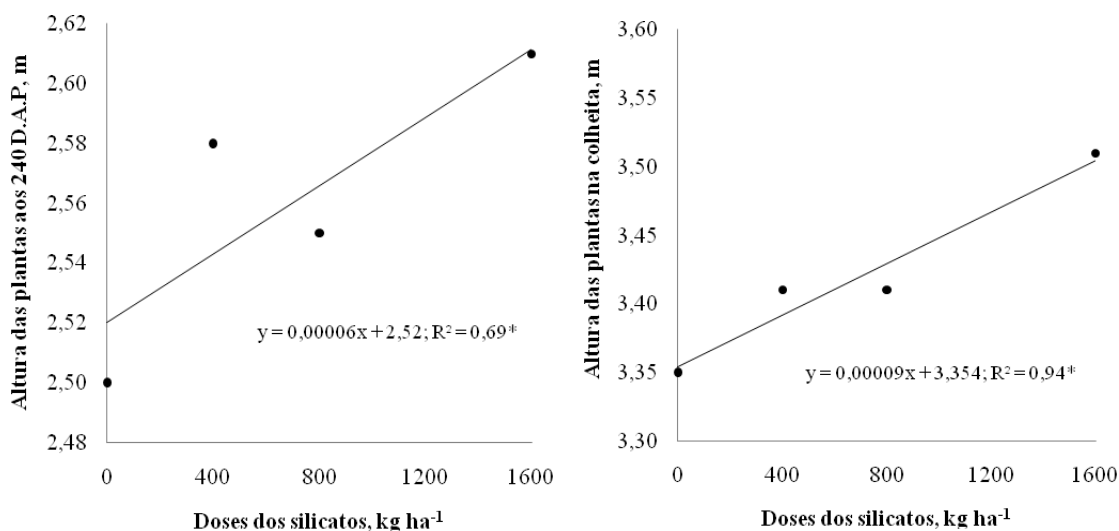


FIGURA 09. Influência de doses de silício crescentes de fontes de Si sobre altura das plantas, aos 240 dias após o plantio e no momento da colheita (média de duas fontes).

De acordo com a Figura 9, sem a aplicação de qualquer uma das fontes, a altura média esperada das plantas, aos 240 D.A.P, é de 2,52 m. Segundo a análise de regressão, para cada 1 tonelada de silicato aplicado, a planta tem um incremento de 0,6 cm em sua altura.

Já para a avaliação realizada no momento da colheita, observa-se que, sem a aplicação de qualquer uma das fontes, a altura média esperada das plantas, no momento da colheita, é de 3,35 m. Estima-se que, para cada 1 tonelada de silicato aplicado, haja um incremento de 0,9 cm na altura das plantas.

Os resultados obtidos são semelhantes aos que foram observados por Korndörfer et al (2000), que avaliando 3 variedades de cana-de-açúcar submetidas a doses crescentes de cimento (silicato de cálcio), observaram que as plantas do tratamento testemunha, ou seja, que se desenvolveram no solo que não recebeu a aplicação de cimento, apresentaram-se com altura menor, em relação as demais.

4.1.4 Número de entrenós por colmo

Para a avaliação do número de entrenós por colmo, houve diferença entre as fontes, nas doses de 400 e 800 kg ha⁻¹ das fontes, sendo que a Fonte 1 foi superior a Fonte 2, na dose de 400 kg ha⁻¹, e a Fonte 2 superior a Fonte 1, na dose de 800 kg ha⁻¹ (TABELA 08).

TABELA 08. Número de entrenós por colmo (unidades), em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Número de entrenós por colmo (unidades) -----		
0	21,5 a	21,5 a	21,5 a
400	24,7 a	23,0 b	23,9 a
800	23,7 b	25,2 a	24,5 b
1600	24,3 a	25,4 a	24,9 a
Análise de regressão	**	**	
Média	23,6	23,8	

**Análise de regressão significativa para o modelo quadrático. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Verificou-se que, para a Fonte 1, o número de colmos por perfilho aumentou em função da aplicação até a dose de 1600 kg ha⁻¹. Já para a Fonte 2, o número de entrenós por colmo aumentou até a dose de 1300 kg ha⁻¹ (FIGURA 10).

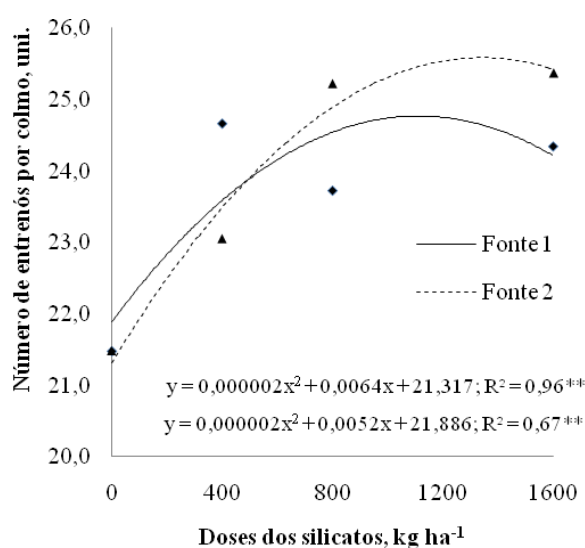


FIGURA 10. Influência da aplicação de duas fontes de Si sobre o número de entrenós por colmo (unidades).

4.2 Teores foliares de Si

Quando analisado os teores foliares de Si, não se verificou diferença estatística entre as fontes e nem influência das doses de escória nas análises foliares realizadas aos 180 e 240 dias após o plantio (TABELAS 09 e 10). No entanto, verificou-se um aumento de 30% no teor de silício foliar, aos 240 dias após o plantio, quando comparado aos 180 dias após o plantio, o que pode indicar que, neste período as fontes tiveram maior tempo para que ocorressem reações no solo e disponibilizassem o Si às plantas. Além disso, com um maior tempo de desenvolvimento das plantas, os sistemas radiculares passaram a explorar um maior volume de solo, fazendo com que a capacidade de absorção de Si pelas plantas aumentasse.

TABELA 09. Teor foliar de Si (%), aos 180 dias após o plantio, em função da aplicação de doses de fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Teor foliar de Si 180 D.A.P (%) -----		
0	0,9	0,9	0,9
400	0,9	1,0	1,0
800	1,0	1,0	1,0
1600	0,9	1,0	1,0
Análise de regressão			N.S
Média	0,9 A	1,0 A	

N.S: Análise de regressão não significativa a 5% de probabilidade. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

TABELA 10. Teor foliar de Si (%), aos 240 dias após o plantio, em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Teor foliar de Si 240 D.A.P (%) -----		
0	1,2	1,2	1,2
400	1,3	1,3	1,3
800	1,2	1,4	1,3
1600	1,4	1,4	1,4
Análise de regressão			N.S
Média	1,3 A	1,3 A	

N.S: Análise de regressão não significativa a 5% de probabilidade. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

A cana-de-açúcar apresenta concentrações elevadas de Si, entre 0,14%, em folhas jovens, até 6,7%, nos colmos e folhas velhas (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995), respondendo favoravelmente à adubação silicatada, particularmente em solos pobres em silício.

Wangen (2007), trabalhando com aplicação de silicato de potássio via foliar e silicato de cálcio e magnésio via solo, também não verificou diferença estatística entre os tratamentos para a concentração de silício nas folhas, encontrando valores variando entre 0,8 e 1,1 % de silício, concentrações estas semelhantes às identificadas nas análises realizadas aos 180 e aos 240 D.A.P, respectivamente (0,95 e 1,3%).

Os resultados obtidos, também são semelhantes aos observados por Buck et al., (2005) que, estudando doses de silicato de potássio aplicado via foliar (0, 200, 400, 800 e 1600 kg ha⁻¹ de Si) em plantas de arroz, também não verificaram diferenças de teores foliares de Si, em função das doses aplicadas do produto.

4.3 Concentrações de Si no solo

Quando analisado o Si no solo na profundidade de 0 a 15 cm, verificou-se que houve diferença entre as fontes nas doses de 400 e 1600 kg ha⁻¹ de escória, sendo que a Fonte 2 foi superior a Fonte 1, na dose de 400 kg ha⁻¹, e a Fonte 1 superior a Fonte 2, na dose de 1600 kg ha⁻¹. A aplicação de Fonte 2 não proporcionou aumentos nas concentrações de Si no solo (camada 0 a 15 cm), isso pode ter ocorrido por uma menor reatividade da fonte ou pelas doses utilizadas no estudo (TABELA 11).

TABELA 11. Concentração de Si no solo na camada de 0 a 15 cm de profundidade, em função da aplicação de doses de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Concentração de Si no solo 00-15 cm (mg dm ⁻³) -----		
0	10,8 a	10,8 a	10,8
400	10,0 b	11,2 a	10,6
800	10,7 a	10,6 a	10,7
1600	11,8 a	11,1 b	11,5
Análise de regressão	**	N.S	
Média	10,9	11,0	

N.S: Análise de regressão não significativa a 5% de probabilidade. **Análise de regressão significativa para o modelo quadrático. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Já para a Fonte 1, a aplicação de doses crescentes influenciou nas concentrações de Si na camada de 0 a 15 cm de profundidade (FIGURA 11). Sendo que até a dose de 700 kg ha⁻¹ verificou-se uma queda nas concentrações de Si no solo e a partir dessa dose as concentrações deste elemento passaram a aumentar.

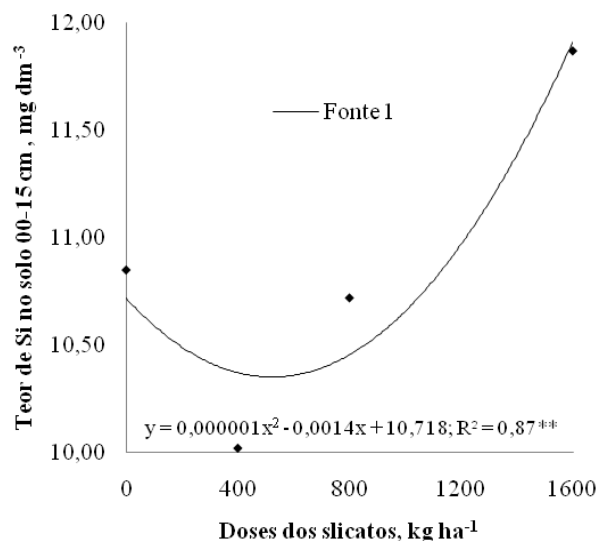


FIGURA 11. Influência de doses de Si sobre as concentrações de Si no solo na camada de 0 a 15 cm de profundidade.

Isto mostra que a Fonte 1 tem alta capacidade em aumentar a disponibilidade de Si no solo, confirmando os resultados obtidos por SANTOS (2007), onde em teste de incubação, observou que a Fonte 1 apresentou alta capacidade de disponibilizar Si ao solo, sendo esta capacidade até mesmo superior do que a da Wollastonita (metassilicato de cálcio natural, utilizado como fonte padrão de Si em estudos científicos) em dois tipos de solos.

A Tabela 12 apresenta as concentrações de Si nas camadas de 15 a 30 cm de profundidade. A Fonte 1 foi superior a Fonte 2 apenas na dose de 1600 kg ha⁻¹, e essa diferença nessa dose pode ter ocorrido devido a erros de amostragem. Mas nas demais doses, não se verificou diferença estatística.

TABELA 12. Concentrações de Si no solo na camada de 15 a 30 cm de profundidade, em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Concentração de Si no solo 15-30 cm (mg dm ⁻³) -----		
0	9,0 a	9,0 a	9,0
400	9,1 a	9,2 a	9,1
800	9,8 a	9,5 a	9,6
1600	9,4 a	8,2 b	8,8
Análise de regressão	**	**	
Média	9,3	9,0	

** Análise de regressão significativa para o modelo quadrático. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Com a aplicação das doses da Fonte 1, observa-se um incremento de Si no solo nas camadas de 15 a 30 cm de profundidade até a dose de 1000 kg ha⁻¹ e, quando utilizada a Fonte 2, até 750 kg ha⁻¹. Após essas doses, observa-se um decréscimo nas concentrações de Si no solo (FIGURA 12).

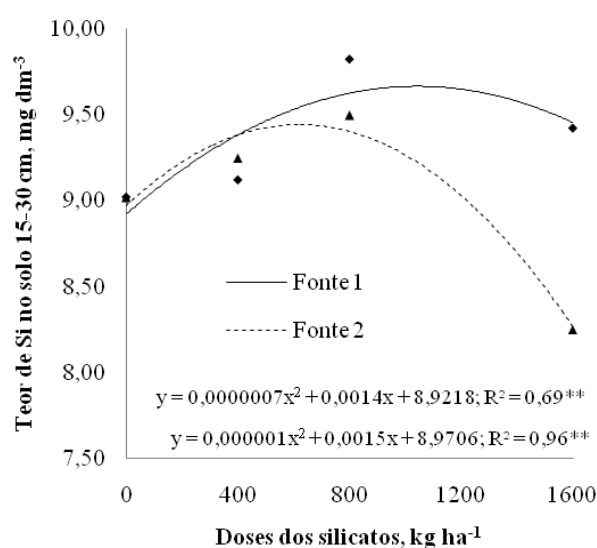


FIGURA 12. Influência da aplicação de doses crescentes de fontes de Si sobre as concentrações de Si no solo na camada de 15 a 30 cm de profundidade.

As concentrações de Si nas camadas de 30 a 45 cm de profundidade só foram diferentes estatisticamente com a aplicação da dose de 800 kg ha⁻¹, sendo que a Fonte 2 apresentou maiores concentrações de Si no solo se comparada com a Fonte 1 (TABELA 13).

TABELA 13. Concentração de Si no solo na camada de 30 a 45 cm de profundidade, em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Concentração de Si no solo 30-45 cm (mg dm ⁻³) -----		
0	6,4 a	6,4 a	6,4
400	7,1 a	7,0 a	7,1
800	7,0 b	8,4 a	7,7
1600	6,8 a	7,2 a	7,0
Análise de regressão	**	**	
Média	6,8	7,2	

** Análise de regressão significativa para o modelo quadrático. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Com a aplicação das doses da Fonte 1, observa-se um incremento de Si no solo nas camadas de 15 a 30cm de profundidade até a dose de 937,5 kg ha⁻¹ e, quando utilizada a Fonte 2, até 1000 kg ha⁻¹. Após essas doses, observa-se um decréscimo nas concentrações de Si no solo nas camadas de 30 a 45 cm (FIGURA 13).

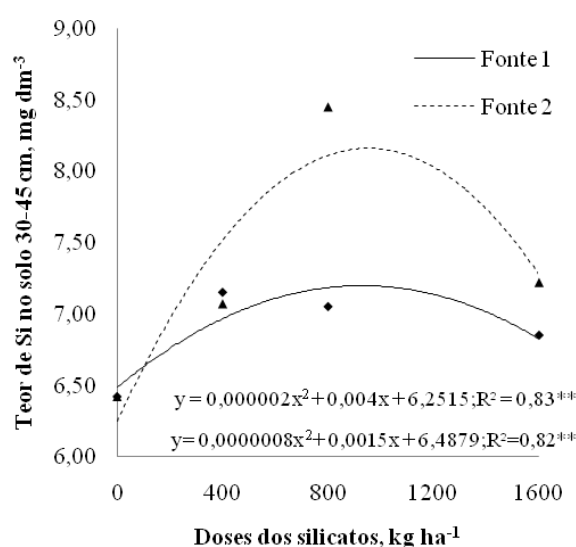


FIGURA 13. Influência da aplicação de doses crescentes de fontes de Si sobre as concentrações de Si no solo na camada de 30 a 45 cm de profundidade.

4.4 Avaliação da resistência às doenças

Analisando a resistência das plantas à doenças diversas, dentre as quais pode-se citar a ferrugem (*Puccinia melanocephala*), mancha anelar (*Leptosphaeria sacchari*),

mancha ocular (*Bipolaris sacchari*), mancha amarela (*Mycovellosiella koepkei*) e mancha parda (*Cercospora longipes*), de acordo com a metodologia proposta por Purdy e Dean (1981), verificou-se que apenas na dose de 1600 kg ha⁻¹ a Fonte 2 se mostrou superior a Fonte 1, nas demais doses não observam-se diferenças significativas (TABELA 14).

TABELA 14. Nível de severidade de doenças diversas, de acordo com a metodologia proposta por Purdy e Dean (1981), em função da aplicação de doses de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Nível de severidade (Notas de 1 a 10) -----		
0	2,52 a	2,52 a	2,52
400	1,52 a	1,60 a	1,56
800	1,63 a	1,50 a	1,56
1600	1,63 b	1,27 a	1,45
Análise de regressão	**	**	
Média	1,83	1,72	

** Análise de regressão significativa para o modelo quadrático. Médias de uma linha seguidas por mes ma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Quando aplicada a Fonte 2, observou-se um aumento na resistência das plantas até a dose de 1250 kg ha⁻¹. Já quando se utilizou a Fonte 1, o aumento da resistência às doenças ocorreu até a dose de 1111 kg ha⁻¹ (FIGURA 14).

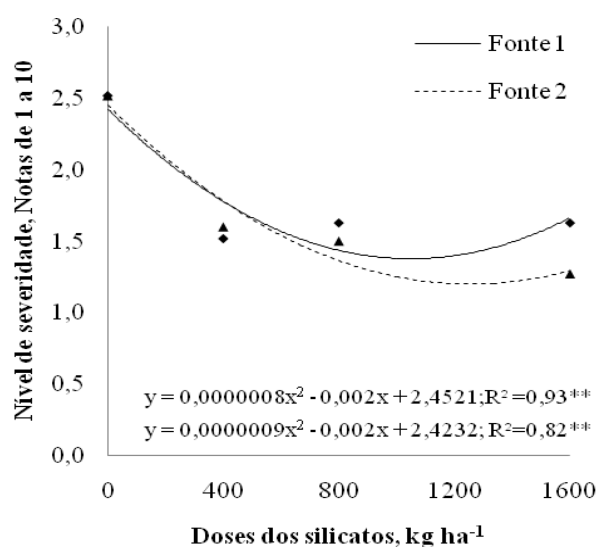


FIGURA 14. Influência de doses de fontes de Si sobre o nível de severidade das doenças diversas nas plantas.

Observa-se que, para a resistência das plantas às doenças, o comportamento das duas fontes foi bastante semelhante, ou seja, a severidade das doenças reduziu com o aumento das doses até 1250 kg ha⁻¹ e 1111 kg ha⁻¹, quando aplicado a Fonte 2 e Fonte 1, respectivamente, o que indica que os silicatos aumentaram a resistência das plantas de cana-de-açúcar às doenças que ali incidiram. Sabe-se que, atualmente, a cultura da cana-de-açúcar é uma das poucas culturas de importância econômica que completa seu ciclo de produção sem a necessidade da aplicação de fungicidas. Isto ocorre pelo fato de que o método de controle, até então mais econômico e eficiente, tem sido a resistência genética. Entretanto, dificilmente uma variedade comercial é completamente resistente às principais doenças que afetam esta cultura e desta forma este método tem se mostrado limitado. Assim sendo, com os resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização destas fontes pode interferir positivamente na resistência da cana-de-açúcar às principais doenças, configurando-se, portanto, como uma medida de controle auxiliar à resistência genética.

Vários estudos vêm sendo conduzidos em todo o mundo visando aumentar a resistência das plantas às doenças com o fornecimento de Si às plantas. Resultados satisfatórios têm sido obtidos com soja (RODRIGUES, 2009), arroz (DATNOFF et al., 2001) e algodão (LIANG et al., 2005).

Os mecanismos de resistência potencializados pelo Si em plantas a patógenos ainda não estão totalmente esclarecidos. A hipótese da formação de uma barreira física abaixo da cutícula após a polimerização do ácido monossilícico explica, embora parcialmente, o aumento da resistência do arroz a brusone (KIM et al., 2002). Essa hipótese vem sendo usada por vários pesquisadores como um dos argumentos para explicar a resistência de algumas espécies de plantas a certos patógenos, quando supridas com Si. Contudo, o abundante acúmulo de compostos fenólicos, associados com as estruturas de alguns patógenos como *Pyricularia grisea* e o aumento na produção de fitoalexina da classe das momilactonas (DATNOFF et al., 2007), a transcrição de alguns genes em arroz associados com a resistência à brusone (RODRIGUES et al., 2005), e o incremento na atividade de enzimas líticas à parede celular fúngica (LIANG et al., 2005) reforçam a hipótese de que o Si potencializa mecanismos de defesa natural das plantas e não atua apenas de forma passiva na resistência.

Na cultura da cana-de-açúcar, os estudos envolvendo os efeitos do Si na resistência das plantas às doenças são reduzidos e colocados em um segundo plano, justamente pelo fato de que, até o momento, o controle via resistência genética tem sido satisfatório para

manter as doenças que afetam a cultura em um nível aceitável. No entanto, já existem algumas evidências de que o Si também atue com sucesso na cana-de-açúcar, aumentando seu nível de resistência à algumas doenças.

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 controversa, porém a maioria dos pesquisadores o atribuem a falta de "Si" e a desequilíbrios nutricionais. O aparecimento da Ferrugem na cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*) pode estar relacionado ao referido sintoma. Este é mais severo nas folhas velhas e a área fotossintética é, quase sempre, fortemente atingida (LEITE et al, 2008).

Cheong et al. (1973) concluíram que o aparecimento de "sarda" nas folhas de cana-de-açúcar se deveu à 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 através da parede celular, aumentando assim a economia de água da planta pela diminuição da taxa de transpiração. Para Kidder e Gascho (1977), os solos carentes em "Si" resultam na disseminação rápida do mosaico, atraso na maturação e diminuição da quantidade de sólidos solúveis no caldo de cana.

4.5 Avaliação da resistência à broca do colmo

Não foram observadas diferenças entre as fontes para a porcentagem de entrenós brocados (TABELA 15).

TABELA 15. Resistência das plantas à broca do colmo (% de colmos brocados), em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Porcentagem de entrenós brocados -----		
0	2,22	2,22	2,22
400	0,95	0,90	0,92
800	1,10	0,75	0,92
1600	1,05	0,20	0,62
Análise de regressão			**
Média	1,33 A	1,01 A	

** Análise de regressão significativa para o modelo quadrático. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

No entanto, independentemente da fonte utilizada, houve influência das doses sobre esta variável. Observou-se que houve redução na porcentagem de entrenós brocados até a dose de 1300 kg ha⁻¹, onde se constatou a menor porcentagem de colmos com broca (FIGURA 15).

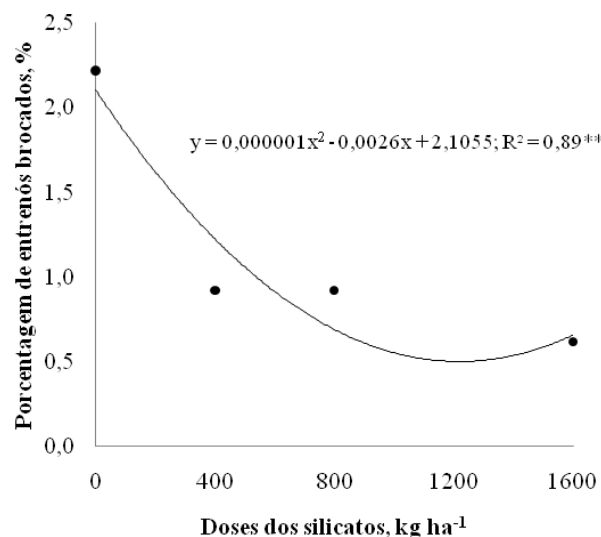


FIGURA 15. Influência da aplicação de doses crescentes de fontes de Si sobre a resistência das plantas à broca do colmo (média de duas fontes).

Os resultados observados confirmam o efeito benéfico do Si sobre a resistência da cana-de-açúcar à broca-do-colmo. Na África do Sul, Keeping e Meyer (2000) observaram que, de um modo geral, os danos causados pela mesma foram reduzidos em aproximadamente 19 e 33%, respectivamente, quando a dose de Si foi de 2,5 e 5 t ha⁻¹.

Outro resultado positivo foi obtido por Elawad et al (1985), quando observaram que nas plantas de cana-de-açúcar, cultivadas em casa-de-vegetação, tratadas com 138 g de Na₂SiO₃ por 40 L de solo, houve uma redução de 73 para 7% no número de plantas atacadas pela broca da cana (*Diatraea saccharalis*).

Entretanto, a falta de resposta à resistência da cana-de-açúcar à broca do colmo com a aplicação de silício já foi observada. Komndörfer et al (2000), avaliando 3 variedades comerciais submetidas a doses crescentes de cimento (silicato de cálcio), não observaram nenhuma redução na porcentagem de colmos brocados, não afetando, portanto, a resistência das plantas à broca.

4.6 Avaliação da produtividade

As fontes não diferiram entre si na produtividade de colmos. As produtividades da cana-de-açúcar nos tratamentos que receberam 400, 800 e 1600 kg ha⁻¹ foram de 174,3, 175,8 e 177,7 t ha⁻¹, respectivamente, ou seja, suas produtividades foram 106,8%, 107% e 108%, respectivamente, maiores que a do tratamento testemunha (TABELA 16), a máxima produtividade (179,23 t ha⁻¹) foi alcançada com a dose de 1255 kg ha⁻¹ de silicato (média de 2 fontes) (FIGURA 16). Considerando a tonelada de cana R\$ 51,00, verifica-se uma receita de R\$ 510,00, R\$ 586,50 e R\$ 683,40 a mais com a aplicação de 400, 800 e 1600 kg ha⁻¹ de silicato, respectivamente, quando comparada com o tratamento testemunha.

TABELA 16. Produtividade de cana-de-açúcar (t ha⁻¹), em função de doses e fontes de Si.

Doses de silicato kg ha ⁻¹	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
	----- Produtividade (t ha ⁻¹) -----		
0	164,3	164,3	164,3
400	177,0	171,6	174,3
800	177,7	173,9	175,8
1600	175,6	179,8	177,7
Análise de regressão			**
Média	173,7 A	172,4 A	

** Análise de regressão significativa para o modelo quadrático. Médias de uma linha seguidas por mes ma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

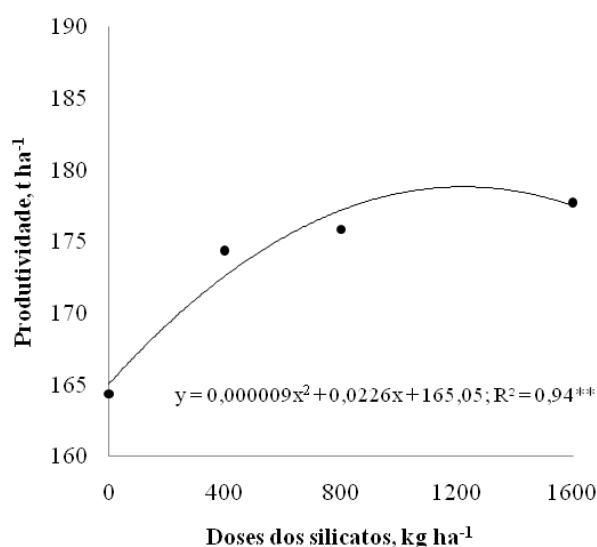


FIGURA 16. Efeitos de doses de fontes de Si sobre a produtividade de colmos de cana-de-açúcar (média de duas fontes).

Korndörfer et al. (2000), estudando o efeito da aplicação de Si na cana-de-açúcar, verificaram acréscimo médio de $9,1 \text{ t ha}^{-1}$ na produtividade dessa cultura. Korndörfer et al. (2002) verificaram aumento médio de 14 t ha^{-1} na produtividade da cana-de-açúcar com a aplicação de 4,0 toneladas de cimento como fonte de Si no plantio da cultura, na Usina Nova União, em Serrana, São Paulo.

Kingston et al. (2005), por sua vez, verificaram, em dois experimentos desenvolvidos em áreas distintas em Queensland, Austrália, acréscimos de 32% e 35% na produtividade da cana-de-açúcar com a aplicação de 9 e 12 t ha^{-1} de silicato de cálcio, respectivamente, durante dois anos de cultivo. Em um terceiro experimento, desenvolvido em outra área, esses mesmos autores obtiveram aumento de 45% na produtividade dessa cultura, com a aplicação de 12 t ha^{-1} do mesmo produto, por um ciclo de 4 anos de cultivo. Elawad et al. (1985), citados por Korndörfer e Lepsch (2001), relataram aumentos de 68% e 79% em produtividade de cana com a aplicação de 15 t ha^{-1} de escória como fonte de Si.

Conforme Korndörfer et al. (2002), a adubação silicatada da cana-de-açúcar resulta em aumento da eficiência fotossintética e da resistência ao ataque de pragas e doenças e à maior tolerância à falta de água durante os períodos de baixa umidade do solo, refletindo em maior produtividade. Para Savant et al. (1999), o silício pode, ainda, promover alívios de danos causados por geada e melhoria na arquitetura dessa cultura. Prado e Fernandes (2001) demonstraram que a aplicação de escória de siderurgia, produto à base de silicato de cálcio, reduziu significativamente a senescência das folhas de cana-de-açúcar de 35,6% para 26,9%. Para esses mesmos autores, o uso da escória de siderurgia como fonte de silício para essa cultura pode incrementar ainda mais a taxa fotossintética da mesma, em razão do prolongamento da vida útil das folhas, refletindo na produtividade. Em Maurício, na África, o uso de silicato de cálcio na dose de $7,1 \text{ t ha}^{-1}$ proporcionou aumentos de produção da cana-de-açúcar durante ciclo de avaliação de 6 anos (KORNDÖRFER et al. 2002). Para Kingston et al. (2005), os vários resultados positivos sobre os efeitos do silício para a cana-de-açúcar indicam claramente que esse elemento deveria ser tratado como parte integral de qualquer prática de fertilização associada a essa cultura.

4.7 Avaliações laboratoriais da qualidade industrial da cana-de-açúcar

4.7.1 Índice de pureza do caldo

Quando analisado a pureza do caldo, verificou-se que não houve diferença estatística entre as fontes testadas (TABELA 17). Também se constatou que, independentemente da fonte, o índice de pureza do caldo sofreu influência a medida que se aumentou a dose aplicada. Percebe-se que a maior percentagem de pureza foi obtida quando se aplicou 550 kg ha⁻¹ das escórias e a partir dessa dose os valores diminuíram (FIGURA 17).

TABELA 17. Índice de pureza do caldo (%), em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Teor de pureza no caldo (%) -----		
0	86,4	86,4	86,4
400	87,8	87,3	87,0
800	87,5	86,9	87,2
1600	85,4	86,3	85,8
Análise de regressão			**
Média	86,5 A	86,7 A	

**Análise de regressão significativa para o modelo quadrático. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Estes resultados contrastam com os obtidos por Prado (2002), que ao avaliar o efeito da aplicação de escória de siderurgia sobre as características tecnológicas da variedade de cana-de-açúcar SP80-1842, não observou nenhuma interferência sobre os valores de pureza do caldo.

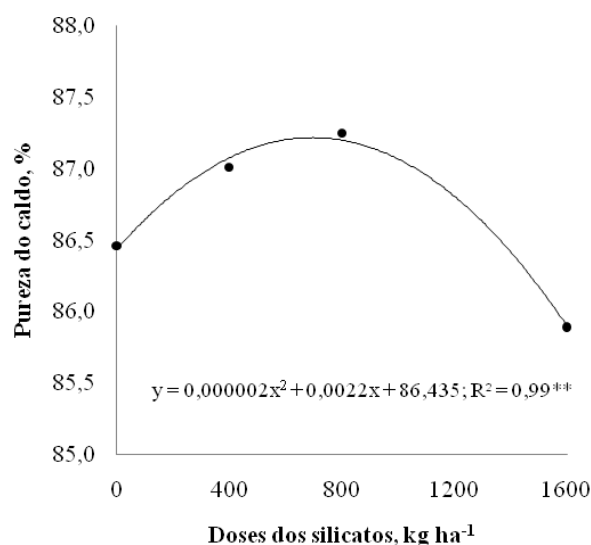


FIGURA 17. Influência da aplicação de doses de Si sob índice de pureza do caldo (média de duas fontes).

4.7.2 Teor de fibra da cana

Para o teor de fibra, verificou-se que também não houve diferença significativa entre as fontes (TABELA 18), nem tampouco se observou interferência das doses crescentes sobre esta variável.

TABELA 18. Teor de fibra (%), em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato kg ha ⁻¹	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
	----- Teor de fibra (%) -----		
0	11,4	11,4	11,4
400	11,5	11,3	11,4
800	11,6	11,5	11,5
1600	11,6	11,2	11,4
Análise de regressão			N.S
Média	11,5 A	11,4 A	

N.S: Análise de regressão não significativa a 5% de probabilidade. Médias de uma linha seguidas por mes ma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Este resultado é divergente do observado por Leite et al (2008). Neste trabalho, os autores observaram que o teor de fibra aumentou a medida que se aumentou a dose de silicato aplicada.

4.7.3 POL do caldo

As escórias diferiram, em relação à variável POL do caldo, apenas quando foi aplicado 1600 kg ha⁻¹ de silicato, onde a Fonte 1 apresentou maiores valores que o agrosilício (TABELA 19).

TABELA 19. POL do caldo (%), em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- POL do caldo (%) -----		
0	19,0 a	19,0 a	19,0
400	19,0 a	19,0 a	19,0
800	19,0 a	19,0 a	19,0
1600	19,0 a	18,0 b	19,0
Análise de regressão	N.S	N.S	
Média	19,0	19,0	

Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Prado (2002), por sua vez, ao avaliar o efeito da aplicação de escória de siderurgia sobre as características tecnológicas da cultivar de cana-de-açúcar SP80-1842, verificou ausência de resposta da mesma nos valores de POL. Desta forma, pode-se presumir que a influência da aplicação das escórias de siderurgia sobre a característica POL do caldo varia entre as variedades de cana-de-açúcar e é dependente de características próprias de cada fonte.

4.7.4 Brix do caldo

Para a variável Brix do caldo, percebe-se que apenas na dose de 1600 kg ha⁻¹ a Fonte 1 se mostrou superior a Fonte 2. Nas demais doses não houve diferença significativa (TABELA 20).

TABELA 20. Brix do caldo (%), em função da aplicação de doses crescentes de diferentes fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Brix do caldo (%) -----		
0	22,0 a	22,0 a	22,0
400	22,0 a	22,0 a	22,0
800	22,0 a	22,0 a	22,0
1600	22,0 a	21,0 b	22,0
Análise de regressão	N.S	N.S	
Média	22,0	22,0	

Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Estes resultados obtidos são divergentes do observado por Prado (2002), ensaio este no qual, utilizando-se a variedade comercial SP80-1842, o autor não observou nenhuma alteração nos valores de Brix, quando as plantas foram submetidas à aplicação de escória de siderurgia.

4.7.5 Açúcar total recuperável (ATR)

Para os fornecedores de cana-de-açúcar para indústria, o ATR é a característica químico-tecnológica mais importante no momento da comercialização, já que a partir dela são estipulados os preços de compra pela indústria sucroalcooleira. Na Tabela 21, observa-se que o aumento das doses das fontes utilizadas não promoveu alterações sobre a variável ATR. Estes resultados se assemelham aos obtidos por Leite et al (2008), que avaliando o ATR em plantas submetidas à aplicação de doses crescentes de três fontes comerciais de Si, não observaram nenhuma alteração neste índice em nenhum dos tratamentos avaliados.

TABELA 21. Açúcar total recuperável (kg t^{-1} de cana) em função da aplicação de doses de fontes de Si.

Doses de silicato	Fontes de Si		Média
	Fonte 1	Fonte 2	
kg ha ⁻¹	----- Açúcar total recuperável (kg t ⁻¹ de cana) -----		
0	158,20	158,20	158,20
400	159,19	159,42	159,30
800	160,91	159,57	160,24
1600	160,53	157,21	158,87
Análise de regressão			N.S
Média	159,71 A	158,60 B	

N.S: Análise de regressão não significativa a 5% de probabilidade. Médias de uma linha seguidas por mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Entretanto, constatou-se que a Fonte 1 se mostrou superior a Fonte 2. Desta forma, quando as plantas se desenvolvem em solo que recebeu a aplicação da Fonte 1, estas apresentaram maior potencial para a produção de açúcar (TABELA 21).

5 CONCLUSÕES

- A aplicação das fontes favoreceu o aumento na produtividade da cana-de-açúcar.
- Independentemente da fonte utilizada, o uso dos silicatos reduziu a severidade das doenças foliares.
- Houve redução na porcentagem de entrenós brocados, com o uso das fontes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.0004** – resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, G.F, et al. Calcium silicate and organic mineral fertilizer applications reduce phytophagy by *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) on eggplants (*Solanum melongena* L.). **Interciencia**, Recife, v.33, p. 835-839, 2008.

ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H.. El silíceo en el suelo y la planta (Parte III). **The Sugar Journal** v.58 n.4, Sep. p.12- 13, 1995.

ANDERSON, D.L; SOSA, O,Jr. Effect of silicon on expression of resistance to sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*). **Journal of the American Society for Sugar Cane Technologists**, Baton Rouge, v.21, p. 43-50, 2001.

ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglade Histosols. **Agronomy Journal** 83, p. 870-874, 1991.

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.

AYRES, A.S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. **Soil Sci.** n. 101 v.3 p. 216- 227, 1966.

BAIR, R.A. Leaf Silicon in Sugarcane, Field Corn and St. Augustinegrass grown on some Florida Soils. **Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings**, 26:63-70, 1966.

BENINCASA, M.M.P. **Análise do crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

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.

BUCK, G. B. et al. Potassium silicate foliar application and rice blast controle. In: **SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE**, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...**, Uberlândia: UFU/ICIAG, 2005. 152 p.

CAMARGO, P. N. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura e Horticultura, 1970. 38p.

CARVALHO-PUPATTO, J. G. et al. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 11, p. 1323-1328, nov. 2003.

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

COELHO, P.E. Da escória ao vidro. **Revista Limpeza Pública**, v.49, p.36-45, 1998.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Cana-de-açúcar: Safra 2009/2010, Primeiro Levantamento, Abril de 2010**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1_cana_10.pdf>. Acesso em: 5 Maio. 2010.

COPERSUCAR – Cooperativa de produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Amostragem e análise da cana-de-açúcar**. São Paulo, 1980. 37 p.

CORREA, R.S; MORAES, J.C; AUAD, A.D; CARVALHO, G.A. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.34, p. 429-433, 2005.

COSTA, R.R, MORAES, J.C. Resistência induzida em sorgo por silicato de sódio e infestação inicial pelo pulgão-verde *Schyzaphis graminum*. **Revista Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 27, n. ½, p. 37-39, 2002.

DALTO, G. **Manejo de silicato e calcário em soja cultivada sobre palhada de cana-de-açúcar**. 2003. 90f. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

DATNOFF L. E, RODRIGUES F. A, SEEBOLD K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM (Eds.) **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul MN. APS Press. p. 233-246, 2007.

DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H. Silicon in Agriculture. **Elsevier Science**, Amsterdam, The Netherlands, 424p. (v. 8, book series Studies in Plant Science), 2001.

DINARDO-MIRANDA, L.L., VASCONCELOS, A.C.M., LANDELL, M.G.A. **Cana-de-Açúcar**. Instituto Agrônômico. Campinas. 2008.

ELAWAD, S.H.; L.H. ALLEN, Jr; GASCHO, G.J. Influence of UV-B radiation and soluble silicates on the growth and nutrient concentration of sugarcane. **Soil and Crop Science Society of Florida**. v.44, p.134-141. 1985.

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

FARIAS, R.J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 88f. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**, 2. ed. Piracicaba: STAB - Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 2003. 240p.

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.

FOX, R.L.; SILVA, V.A. Symptoms of plant malnutrition silicon an agronomically essential nutrient or sugarcane. **Agronomy Associates Soil Science**. University Hawaii, (Série 8), 1978.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GLÓRIA, N. A.; RODELLA, A. A. Determination of silicon in sugarcane juice. **Revista Agrícola**, Piracicaba, v. 42, n. 2, p. 125-136, 1972.

GOUSSAIN, M.M; PRADO, E; MORAES, J.C. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v.34, n.5, p, 807-813, Sep./Oct. 2005.

HANISCH, H.C. Die Populationsentwicklung von Getreideblattläusen an Weizenpflanzen nach verschieden hoher Stickstoffdüngung und vorbeugender Applikation von Kieselsäure zur Wirtspflanze. **Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für angewandte Entomologie**, Basel, v.3, p. 308-311, 1981.

KEEPING, M.G; MEYER, J.H. Silicon-mediated resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae): effects of silicon source and cultivar. **Journal of Applied Entomology**, Hoboken, v. 130, p. 410-420, 2006.

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Nitrogen and silicon impact on the resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Stalk borer (Lepidoptera: Pyralidae). In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...**, Uberlândia: UFU/ICIAG, 2005. p. 152 p.

KEEPING, M.G; MEYER, J.H. Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the African stalk borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). **Agricultural and Forest Entomology**, Hoboken, v.4, p. 265-274, 2002.

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. **Increased resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* walker (Lepidoptera: Pyralidae) with calcium silicate application.** South Africa. Trabalho não publicado. 2000.

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

KIM SG; KIM KW; PARK EW; CHOI D. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology** v.92, p.1095-1103, 2002.

KINGSTON, G. et al. Impact of calcium silicate amendments on sugarcane yield and soil properties in Queensland Australia. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...**, Uberlândia: UFU/ICIAG, 2005. p. 152.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3 ed., Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004a (Boletim Técnico n. 2).

KORNDÖRFER, G. H., PEREIRA, H. S., NOLLA, A. **Análise de silício: solo planta e fertilizante**. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, Boletim Técnico; 02. 2004b. 50 p.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi- ICIAG-UFU, 2003. 53p. (Boletim técnico, 1).

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, G. H.; LEPSH, I. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in agriculture**, Amsterdam: Elsevier Science, 2001, p. 209-219.

KORNDÖRFER, G. H.; BENEDINI, M.; PAULA, F. B.; CHAGAS, R. C. S. Cimento como fonte de silício para a cana-de-açúcar. **STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 19, n. 2, 2000.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.1, p.101-106, 1999.

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.

KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G.; GEOBEL, R.; BYRNE, M. Effects of silicon on the African stalk borer, *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in sugarcane. In: PROCEEDINGS OF SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGY ASSOCIATION. 2005. **Anais...** 79, p. 359–362.

LANDELL, M.G.A.; SILVA, M.A. Manual do experimentador: melhoramento da cana-de-açúcar. In: **Metodologia de experimentação: ensaios de competição em cana-de-açúcar**. Pindorama: Instituto Agrônomo, 1995, p.3-9.

LEITE, G. M. V. et al. Efeitos de fontes e doses de silicato de cálcio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar SP80-1816. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32 n.4, Jul/Aug. 2008.

LIAN, S. Silica fertilization of rice. **The fertility of padd soils and fertilizer applications for rice**. Food And Fertilizer Technology Center, Taiwan, 1976. p.197-220.

LIANG, M. D.; ADANDONON, A. Silicon and insect management – Review. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...**, Uberlândia: UFU/ICIAG, 2005. 152 p.

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**, 58:475-483, 2005.

LIMA FILHO, O. F.; GROTHGE-LIMA, M. T. ; TSAI, S. M. O Silício na Agricultura. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 87. n. 3. p. 1-7, 1999.

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

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, v. 1. p. 331-350, 1979.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 888 p.

MORAES, J.C, et al. Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemíptera: Aphididae) to corn plants (*Zea Mays* L.) treated with silicon. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, p. 761-766, 2005.

NRIAGU, J.O.; PACYNA, J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**, v.333, p.134-139, 1988.

PAN, Y.C; EOW, K.L; LING, S.H. The effect of bagasse furnace ash on the growth of pant cane. **Sugar Journal**, New Orleans, v.42, p. 14-16, 1979.

PARRELA, M.P; COSTAMANA, T. The addition of potassium silicate to the fertilizer mix to suppress *Liriomyza* leafminers attacking chrysanthemums. **Bulletin-OILB/SROP**, Dijon, v. 29, n.4, p. 159-162, 2006.

PEREIRA, H.S, et al. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba v.16, n. 5, p. 522-528, 2004.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1987. 33p. (Boletim Técnico, 114).

PRADO, R. M. Calcário e escória de siderurgia avaliada por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 1, p. 129-135, 2002.

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, 2002.

PRADO, R.M. Qualidades tecnológicas da cana-planta e da cana-soca em função da aplicação da escória de siderurgia e do calcário. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.2, n.1-2, p.51-56, 2002.

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.

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

PURDY, L.H.; DEAN, J.L. A system for recording data about the sugarcane rust/host interactions. **Sugarcane Pathologists**. Newsletter.27, 1981. p. 35-40.

QUEIROZ, A.A. **Reação de fontes de silício em quatro solos do cerrado**. 2003. 39f. Monografia (Graduação em agronomia)- Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

QUEIROZ, A.A; RAMOS, L.A; KORNDORFER, G.H. Saturação de bases, acidez e silicato influenciando a eficiência de adubos fosfatados em solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 75-86, Mar./Apr. 2009.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, v.32, p.223-236, 1973.

RAMOS, L.A, et al. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 849-857, 2006.

REDINOND, C.T; POTTER, D.A. Silicon fertilization does not enhance creeping bentgrass resistance to cutworms and white grubs. **USGA Turfgrass an Environmental Research**, Lakeland, v.6, p. 1-7, 2007.

RODRIGUES, F.Á. et al. Foliar application of potassium silicate reduces the intensity of soybean rust. **Australasian Plant Pathology**, Rockhampton, v.38, n.4, p.366-372, 2009. Disponível em: <<http://www.publish.csiro.au/nid/39/paper/AP09010.htm>>. Acesso em: 22 jul. 2009.

RODRIGUES F. A, et al. Silicon influences cytological and molecular events in compatible rice-*Magnaporthe grisea* interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 66, p. 144-159, 2005.

ROSS, L.; NABABSING, P; WONG YOU CHEONG, Y. Residual effect of calcium silicate applied to sugarcane soils. In: International Cong. the Soc. Sugar Cane Technol. 15., 1974, Durban. **Anais...**, v. 15, n. 2, p. 539-542.

SANTOS, A. P. **Avaliação de cinco escórias de siderurgia como corretivo de acidez do solo e fonte de silício, cálcio e magnésio**. 2007. 27f. Monografia (Graduação em agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SANCHES, A.B. **Efeito do silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e da planta, produção e qualidade em capim – Braquiário [Braquiaria brizantha (Hoechst ex. A. Rich) Stapf. Vc. MARANDU] sob intensidade de pastejo**. 2003. 67f. Dissertação de mestrado pela Faculdade de Agronomia – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2003.

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.

SILVA, L.C. F., CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (Macronutrientes). **Adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. IAA/PLANALSUCAR - Superintendência Geral, Piracicaba, SP, Coordenação: José Orlando Fº: 1983 p. 77 a 96. Coleção nº 2 Planalsucar, 1983.

SILVA, M.F. **Avaliação de fontes de silício através de testes biológicos e de incubação.** 2002. 42 f. Monografia (Graduação em Agronomia)- Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002.

SILVEIRA JÚNIOR EG, PENATTI C, KORNDÖRFER GH, CAMARGO MS. **Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar:** usina Catanduva. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo: Alicerce dos Sistemas de Produção, Resumos... Ribeirão Preto:USP, p. 66, 2003.

SKINNER, J.C. Grading varieties for selection. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 12., 1965, San Juan. **Anais...**, Amsterdam: International Society of Sugar Cane Technologists, p.938-949, 1967.

SUBBARAO D.V., PERRAJU A. Resistance in some rice strains to first-instar larvae of *Tryporyza incertulas* (Walker) in relation to plant nutrients and anatomical structure of the plants. **International Rice Research Newsletter**, Los Baños, v. 1, p. 14-15, 1976.

TOKESHI, H. . Doenças da cana-de-açúcar (híbridos de *Saccharum* spp.) In: KIMATI, H. et al. **Manual de Fitopatologia**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. v.2, p.207-225, 1997.

TOKESHI, H. Perfilhamento e perdas pelo carvão da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.4, n.5, p.34-44, 1986.

WANGEN, D. R. B. **Silício na produtividade e no controle da cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar.** 2007. 69f. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.