Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Efeito do silício na indução de resistência à cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) em cultivares de cana-de-açúcar

Ana Paula Korndörfer

Tese apresentada para obtenção do titulo de Doutor em Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba
2010

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Ana Paula Korndörfer
Bióloga

Efeito do silício na indução de resistência à cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) em cultivares de cana-de-açúcar

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ DJAIR VENDRAMIM**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba
2010

DEDICATÓRIA

A Deus, acima de tudo, pelo dom da vida, força e determinação;

A meus pais, Gaspar e Clotilde, pelos bons exemplos de vida, por todo empenho que tiveram para que eu fosse o melhor que eu poderia ser; pela constante preocupação em não deixar meus sonhos morrerem, e por me fazer acreditar que "O ideal exige forças para lutar e sacrifícios para vencer".

Aos meus irmãos, Letícia, Pedro e Luisa, por serem algo a mais. Como é bom ter vocês em minha vida;

Ao meu marido, Marcus Paulo.... pelo amor, incentivo e companhia que foram fundamentais para que eu vencesse mais esta etapa.

AGRADECIMENTOS

- ✓ A Deus, por me iluminar e permitir mais esta conquista.
- ✓ A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, em especial ao Departamento de Entomologia e Acarologia, pela oportunidade concedida para a realização do curso.
- ✓ Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Entomologia do Departamento de Entomologia e Acarologia, pelos conhecimentos transmitidos.
- ✓ À Capes, pela bolsa concedida.
- ✓ Ao Prof. Dr. José Djair Vendramim, pela oportunidade, orientação e confiança.
- ✓ Ao Prof. Dr. José Roberto Postali Parra, pela cessão de insetos e equipamentos do Laboratório de Biologia de Insetos para o desenvolvimento de algumas fases do trabalho.
- ✓ Aos funcionários do Departamento de Entomologia e Acarologia, em especial, à Marta e à Regina pelos auxílios prestados.
- ✓ À Profa. Dra. Sônia Maria de Estefano Piedade, pelo auxílio nas análises estatísticas.
- ✓ À Profa. Dra. Marinéia de Lara Haddad, pelo auxílio nas análises estatistícas, assim como toda paciência em explicar várias vezes o mesmo tema.
- ✓ Ào Prof. Dr. Luís Eduardo Aranha Camargo, pela cessão de seu laboratório e equipamentos para a realização das análises de compostos fenólicos solúveis totais.
- ✓ À Usina Açúcareira Guaíra, especialmente ao Dr. Eduardo Junqueira Motta Luiz, por permitir a montagem dos experimentos de campo e oferecer ajuda na coleta dos dados.
- ✓ Ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), por ceder gentilmente as gemas de cana-de-açúcar.
- ✓ À amiga Eliane Grisoto, que me acompanhou por todo o doutorado, me ensinando, me aconselhando, me ouvindo e ajudando nos momentos em que estive ausente, peça essencial neste trabalho.
- ✓ A Leandro José Dallagnol, pela dedição de tempo, informação e conselhos nas análises de compostos fenólicos.
- ✓ A Robson Thiago Xavier de Sousa, pela paciência e ajuda nas análises estatísticas.

- ✓ Aos meus avós, Eloah, Gastão e Glaci, por torcerem sempre e pelas energias positivas enviadas de tão longe.
- ✓ À Família Marques e à família Moreti, especialmente Moretão, Sugritcha, Marcelo e Soraya - minha segunda família -, por acreditarem em mim e me incentivarem como se eu fosse filha ou irmã.
- ✓ À todos os membros da OPA – Organização Para a Proteção Ambiental. Um agradecimento especial ao Sr. Juscelino Martins, Adriana Nozela, Isa Valeska e Débora Cosentino por me apoiarem, incentivarem e acreditarem no meu potencial, mesmo que as vezes nem eu mesma acreditasse.
- ✓ A Ivan, Cecília, Thaís e Raquel Veiga por me acolherem e cuidarem de mim em sua casa e me fazerem sentir tão bem e confortada como se fosse a casa de meus pais
- ✓ À Lilian Aparecida de Oliveira, por me receber quando cheguei em Piracicaba e por me presentear até hoje com uma amizade tão sincera.
- ✓ Aos meus amigos "resistentes" e "tolerantes" do laboratório Angelina, Cristina, Eliane, Fátima, Gerane, Leandro, Maria Auxiliadora, Márcio, Marcos, Mônica, Paulo Bogorni e Rafael, pela maravilhosa convivência, pela ajuda constante, troca de informações, palavras de conforto e incentivo e pela amizade.
- ✓ A Cherre, pela amizade, ajuda, mas principalmente as palavras de conforto e incentivo.
- ✓ Aos amigos Carol Energia, Lair, Carol Bárbara, Mariane, Carolina, Paulo Antônio, Michelle, Ivan, Cláudia, Rober, Cover, Daniela, Gorda, pela amizade e compreensão quando estive ausente.
- ✓ À natureza maravilhosa pela possibilidade de tentar decifrá-la e amar mais a vida.
- ✓ A todos os amigos, cujos muitos nomes estão omitidos, por tornarem a jornada do doutorado mais leve e alegre.
- ✓ A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMARIO

RESUMO 9
ABSTRACT 11
1 INTRODUÇÃO 13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15
2.1 Considerações gerais sobre a cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* (Stål) 15
2.1.1 Aspectos taxonômicos 15
2.1.2 Distribuição geográfica e plantas hospedeiras 15
2.1.3 Aspectos morfológicos e bioecológicos 16
2.1.4 Comportamento alimentar e danos em cana-de-açúcar 18
2.1.5 Técnicas de amostragem 20
2.1.6 Métodos de controle 20
2.1.7 Resistência de cana-de-açúcar a cigarrinhas 23
2.2 Considerações gerais sobre silício 25
2.2.1 Silício no solo e nas plantas 25
2.2.2 Fontes de silício 27
2.2.3 Aplicações de silício foliar e via solo 29
2.2.4 Silício na indução de resistência de plantas a insetos 30
2.3 Compostos fenólicos na defesa de plantas contra insetos-praga 35
3 MATERIAL E MÉTODOS 39
3.1 Experimentos de laboratório 39
3.1.1 Cultivo da cana-de-açúcar 39
3.1.2 Criação de *Mahanarva fimbriolata* (Stål) 39
3.1.3 Análise do solo 40
3.1.4 Avaliação do efeito do silício sobre alguns aspectos biológicos da cigarrinha em cultivares resistentes e suscetíveis mantidas em solos arenoso e argiloso 40
3.1.5 Avaliação do efeito do silício na preferência para alimentação da cigarrinha em cultivares resistentes e suscetíveis 42
3.2 Acúmulo de silício em diferentes cultivares de cana-de-açúcar em condições de campo e seu efeito na produtividade e qualidade da cana e na indução de resistência à cigarrinha 43

3.3 Análise da concentração de compostos fenólicos solúveis em duas cultivares de cana-de-açúcar, após diferentes períodos de infestação pela cigarrinha-das-raízes 48
3.4 Análise estatística..... 50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 51

4.1 Avaliação do efeito do silício sobre alguns aspectos biológicos da cigarrinha *Mahanarva fimbriolata* (Stål) em cultivares resistentes e suscetíveis mantidas em solos arenoso e argiloso. 51
4.2 Avaliação do efeito do silício na preferência para alimentação da cigarrinha em cultivares resistentes e suscetíveis 63
4.3. Acúmulo de silício em diferentes cultivares de cana-de-açúcar e seu efeito na produtividade e qualidade da cana e na indução de resistência à cigarrinha-das-raízes..... 65
4.4 Análise da concentração de compostos fenólicos solúveis em duas cultivares de cana-de-açúcar, após diferentes períodos de infestação pela cigarrinha 78
5 CONCLUSÕES 85
REFERÊNCIAS..... 87

RESUMO

Efeito do silício na indução de resistência à cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) em cultivares de cana-de-açúcar

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do silício aplicado em diferentes cultivares de cana-de-açúcar sobre alguns aspectos biológicos e comportamentais da cigarrinha (*Mahanarva fimbriolata*) e sobre a produtividade e a qualidade da cana-de-açúcar, em condições de laboratório e campo. Em laboratório, as cultivares SP79-1011 e SP80-1816 (resistentes à cigarrinha) e SP81-3250 (suscetível) foram cultivadas em solo arenoso ou argiloso sem e com adubação silicatada (800 $kg \cdot ha^{-1}$ de silicato de potássio). Em outro experimento, as cultivares SP81-3250 e SP79-1011, mantidas em vasos com e sem adição de silício, foram expostas a adultos da cigarrinha e, após diferentes períodos (0, 12, 24 e 36h), foi determinada a concentração de compostos fenólicos solúveis totais (CFST) nas plantas. Nesses dois experimentos, os insetos foram provenientes de criação mantida em laboratório. O experimento de campo foi realizado na Usina Guaíra, em Guaíra, SP e os tratamentos foram constituídos de 16 cultivares com e sem aplicação de silício (800 $kg \cdot ha^{-1}$ de silicato de cálcio e magnésio). A avaliação da infestação de cigarrinhas (ninfas e adultos) foi realizada quinzenalmente. Na época da colheita da cana, plantas foram coletadas para a análise dos parâmetros tecnológicos. Em laboratório, o silício absorvido e acumulado na planta causou um acréscimo na mortalidade de ninfas e, dependendo da cultivar, este elemento também proporcionou aumento na duração da fase ninfal e decréscimo na longevidade de machos e fêmeas. A cultivar SP79-1011 foi a que teve o melhor desempenho na maioria dos parâmetros analisados, tendo apresentado maior teor de silício foliar e causado maior mortalidade de ninfas e menor longevidade de fêmeas. O período de pré-oviposição, a fecundidade e a viabilidade dos ovos não foram afetados pelo silício nas plantas ou pela cultivar utilizada. O valor de CFST não diferiu entre plantas tratadas e não tratadas com silício. Após as primeiras horas de exposição à cigarrinha, a cultivar resistente não só produziu maior concentração de compostos fenólicos, mas, quando tratada com silício, respondeu mais rapidamente ao ataque. A adubação silicatada, no campo, diminuiu o número de ninfas, não interferiu na população de adultos e aumentou os valores de Brix% e Pol do caldo, assim como o teor de Fibra% cana. Por outro lado, houve variação na produtividade em função das cultivares, constatando-se os maiores valores nas cultivares SP84-1431 e SP80-3280.

Palavras-chave: Silício; Cigarrinha-das-raízes; Resistência; Cana-de-açúcar; Compostos fenólicos

ABSTRACT

Effect of silicon in the induction of resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) on sugarcane cultivars

The present work aimed to study the effect of silicon applied in different cultivars of sugarcanes in biological and behavioral aspects of the spittlebug (*Mahanarva fimbriolata*) and in the yield and quality of the cane. Studies were conducted in the laboratory and on the field. In laboratory the cultivars SP79-1011 and SP80-1816 (resistant to spittlebug) and SP81-3250 (susceptible) were grown in sandy or clay soil with and without silicon fertilization (800 $kg \cdot ha^{-1}$ of potassium silicate). In another experiment, the cultivars SP81-3250 and SP79-1011 were kept in pots with and without silicon addition, and were exposed to spittlebug adults throughout different periods (0, 12, 24 and 36h), and the concentration of soluble phenolic compounds in plants were quantified. In both experiments the insects were obtained from a laboratory rearing. The field experiment was conducted at Guaíra Sugarcane Mill, in Guaíra, São Paulo. Treatments consisted of 16 cultivars with and without silicon application (800 $kg \cdot ha^{-1}$ of calcium and magnesium silicate). The evaluation of spittlebug infestation (nymphs and adults) was performed fortnightly. At the time of sugarcane harvest, plants were collected to carry out the analysis of technological parameters. In the laboratory experiment, the silicon absorbed and accumulated in the plant caused an increase in nymphs mortality and, depending on variety, this element also provided an increase in the duration of the nymphal stage and decreased longevity of males and females. The SP79-1011 cultivar showed the best performance in most parameters, presenting higher silicon content in leaves and causing increased mortality of nymphs and shorter female longevity. The pre-oviposition period, fecundity and egg viability were not affected by the silicon in plants or the cultivar used. The value of soluble phenolic compounds did not differ between plants treated and not treated with silicon. After the first hours of exposure to spittlebug, the resistant cultivar not only produced a higher concentration of phenolic compounds, but when treated with silicon responded more quickly to the attack. Silicon fertilization in the field reduced the number of nymphs but did not affect the adult population and increased values of Brix% and Pol% from cane juice, and the sugarcane fiber content. Moreover, there was change in yield among cultivars with the highest values for 'SP84-1431' and 'SP80-3280'.

Keywords: Silicon; Spittlebug; Plant resistance; Sugarcane; Phenolic componds

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção estimada pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), na safra 2009/2010, de 629,0 milhões de toneladas, numa área de 7,74 milhões de hectares. Este volume representa um aumento de 10,0% do obtido na safra passada, ou seja, 57,2 milhões de toneladas adicionais do produto.

A região Centro-Sul participa com 89,9% da produção nacional e detém 86,2% da área plantada com essa cultura no território nacional. O estado de São Paulo é o maior produtor, com 54,1% de toda a produção, enquanto que as regiões Norte e Nordeste detêm os 13,7% restantes (CONAB, 2009). A área plantada com cana-de-açúcar aumentou 9,50%, passando de 7,07 milhões de hectares no ciclo 2007/2008 para 7,74 milhões de hectares em 2009/2010. Esse crescimento deve-se à ocupação de áreas não utilizadas pela pecuária e pelo plantio de grãos (FNP, 2009).

No entanto, boa parte da produção dessa cultura no país é perdida em decorrência do ataque de pragas, entre as quais se inclui a cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* (Stål). Historicamente, a cigarrinha-das-raízes era conhecida como praga dos canaviais da Região Nordeste. Nas outras regiões, ela vinha sendo contida, particularmente, pelo controle cultural realizado com a despalha da cana a fogo antes da colheita, o que contribuía para destruir as suas formas biológicas, especialmente os ovos em diapausa. Entretanto, a gradativa eliminação da prática da queima antes da colheita da cana-de-açúcar, a partir de 2002, no estado de São Paulo, por força da Lei Estadual 11.241/2002, tem contribuído para o acúmulo de palhada sobre o solo após a colheita da cana crua, proporcionando condições de mais umidade, o que favorece o aumento significativo das populações da cigarrinha-das-raízes. Desse modo, essa praga, anteriormente sem expressão econômica, tornou-se um problema de grande relevância, principalmente, neste Estado.

M. fimbriolata tem acarretado enormes prejuízos para a cultura da cana-de-açúcar. Além das perdas de produtividade, seu ataque interfere diretamente sobre a fotossíntese e sobre outros processos metabólicos da planta, comprometendo a qualidade da matéria-prima destinada ao processamento industrial, assim como seu valor comercial. O controle químico dessa praga em cana-de-açúcar é muito utilizado, mas devido aos elevados custos dos inseticidas e à possibilidade do surgimento de biótipos resistentes aos produtos tradicionalmente empregados, novas alternativas de controle devem ser buscadas. Entre as opções mais viáveis, pode-se

destacar o controle biológico, o controle cultural, o uso de variedades resistentes e/ou a indução de resistência nas plantas.

A indução de resistência em plantas pode ser obtida por meio da aplicação de produtos químicos ou minerais. Evidências recentes sugerem que o uso de silício leva à formação de uma barreira mecânica nas plantas capaz de aumentar a resistência das mesmas ao ataque de insetos-praga.

A cana-de-açúcar é uma das gramíneas que mais extraem silício do solo, respondendo favoravelmente à adubação silicatada, particularmente em solos pobres nesse elemento. Além do seu importante papel como indutor de resistência às pragas de importância econômica, o silício desempenha diversas outras funções benéficas nessa cultura, entre as quais incluem-se: melhoria da capacidade fotossintética, maior tolerância a geadas, melhoria na arquitetura das plantas, maior tolerância ao estresse hídrico, controle de pragas, melhoria na qualidade da matéria-prima e aumento na produtividade. Não obstante a diversidade de estudos comprovando a importância do silício como elemento benéfico para a cana-de-açúcar e como agente indutor de resistência a pragas nessa cultura, não há relatos de trabalhos envolvendo o seu emprego na indução de resistência varietal à cigarrinha-das-raízes.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do silício aplicado em diferentes cultivares de cana-de-açúcar sobre alguns aspectos biológicos e comportamentais da cigarrinha (*Mahanarva fimbriolata*) e sobre a produtividade e a qualidade da cana-de-açúcar, em condições de laboratório e campo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações gerais sobre a cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* (Stål)

2.1.1 Aspectos taxonômicos

As cigarrinhas são insetos sugadores pertencentes à ordem Hemiptera e à família Cercopidae. Esta família envolve todos os gêneros de cigarrinhas da cana-de-açúcar e das pastagens que se originaram e evoluíram na região zoogeográfica Neotropical, compreendendo desde o México e ilhas do Caribe até a América do Sul. Possuem como plantas hospedeiras, exclusivamente, gramíneas e algumas ciperáceas (MENDONÇA et al., 2005).

Fewkes (1969) reuniu 11 gêneros envolvendo as principais espécies de cigarrinhas que atacam a cana-de-açúcar em três subfamílias: Tomaspidini (*Tomaspis*, *Sphenoclypeana*), Cercopini (*Aeneolamia*, *Delassor*, *Deois*, *Monecphora*, *Prosapia*, *Sphenorhina*) e Comoscartini (*Mahanarva*).

Alves (1998) cita as cigarrinhas *Mahanarva posticata* (Stål) e *M. fimbriolata* como as principais pragas da cana-de-açúcar, sendo a primeira conhecida como cigarrinha-das-folhas, por atacar a parte aérea das plantas, e a segunda, como cigarrinha-das-raízes, cujo ataque localiza-se, principalmente, nas primeiras raízes ao nível do solo.

2.1.2 Distribuição geográfica e plantas hospedeiras

A eliminação da prática da queima da cana-de-açúcar antes da colheita, estabelecida pela Lei Federal 11.241/2002, contribuiu para o significativo aumento populacional da cigarrinha-das-raízes, de tal modo, que essa praga, anteriormente sem expressão econômica, tornou-se um problema relevante, especialmente em regiões de temperatura elevada (DINARDO-MIRANDA; FERREIRA, 2004). Ainda de acordo com esses autores, condições de alta umidade, proporcionadas pela abundante cobertura vegetal deixada no solo, em função da colheita de cana crua, são bastante favoráveis à cigarrinha.

As diferentes regiões do Brasil apresentam distintos complexos de cigarrinhas. *Deois incompleta* (Walker) é importante na região Norte, *Notozulia* (*Zulia*) *entreriana* (Berg), *Deois schach* (Fabricius) e *Aeneolamia selecta* (Walker) são importantes para a região Nordeste,

enquanto que *Deois flavopicta* (Stål) predomina nos estados do Brasil Central, norte do Paraná e na região Leste. Recentemente, em pastagens da região Centro-Norte do país, compreendendo o Norte de Mato Grosso, Norte de Tocantins, Sul do Pará e Rondônia, tem-se constatado a predominância de cigarrinhas pertencentes ao gênero *Mahanarva* (VALÉRIO, 2005). O levantamento realizado por Bernardo et al. (2003) para verificar as espécies que ocorrem no meio-norte do estado de Mato Grosso constatou que as cigarrinhas mais representativas foram *D. flavopicta, M. fimbriolata* e *Z. entreriana*, sendo que no município de Juara os percentuais dessas espécies foram respectivamente 51, 37 e 12%.

A cigarrinha-das-raízes (*M. fimbriolata*), apesar de ser conhecida como praga dos canaviais da Região Nordeste, tem acarretado enormes prejuízos na região Centro Sul, maior produtora canavieira do país, constituindo-se um dos maiores problemas agrícolas atuais da cultura após o advento da colheita mecanizada da cana, sem a queima prévia da palhada (GONÇALVES et al., 2003).

A ocorrência de *M. fimbriolata* é mais séria no estado de São Paulo, mas sua distribuição geográfica estende-se também aos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Amazonas, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Mato Grosso e Goiás (MENDES et al.,1977, MACEDO et al., 2003). Alguns autores afirmam que a cigarrinha está presente em quase todas as áreas de colheita mecanizada de cana crua na região Centro-Sul, embora, em certos locais, em populações ainda não preocupantes.

É importante mencionar que, além da cana-de-açúcar, as cigarrinhas vivem em outras gramíneas, principalmente nos capins e gramas, de forma análoga à cana-de-açúcar (GALLO et al., 2002) como constatou Leite (2002) ao verificar que *M. fimbriolata* é a principal praga do capim-napier *Pennisetum purpureum* Schumach, no leste do estado de São Paulo.

2.1.3 Aspectos morfológicos e bioecológicos

Os adultos da cigarrinha-das-raízes medem cerca de 13 mm de comprimento por 6 a 7 mm de largura, de acordo com Passos (1973), predominando nas fêmeas a coloração castanho-avermelhada e nos machos a coloração vermelha. Gallo et al. (2002) descrevem as fêmeas como tendo as tégminas mais escuras e de coloração marrom-avermelhada, orladas de preto, e percorridas por uma faixa longitudinal da mesma cor. Dinardo-Miranda (2003), entretanto, cita

que são comuns insetos de cor castanho-escura, quase negros, e outros de cor vermelha bastante clara, rosados, com faixas ligeiramente mais escuras nas asas.

Figura 1 – Adultos (esquerda) e ninfas (direita) de *Mahanarva fimbriolata* Stål

Ainda conforme essa autora, após o acasalamento, as fêmeas ovipositam na palhada e, principalmente, sobre a superfície do solo, em reentrâncias próximas à base das touceiras ou, conforme Gallo et al. (2002), nas bainhas secas das plantas. Cada fêmea coloca entre 310 e 380 ovos durante o seu ciclo, cuja duração média é de 22 dias ao passo que o macho vive, em média, 17 dias, segundo Dinardo-Miranda (2003).

Em condições de temperatura e umidade elevadas, as ninfas emergem dos ovos cerca de 20 dias após a postura (DINARDO-MIRANDA, 2003) e dirigem-se às raízes, onde se fixam para sugarem a seiva.

A infestação é reconhecida pela presença de uma espuma esbranquiçada, semelhante à espuma de sabão, exsudada pelas ninfas, e que envolve a base da touceira, servindo de proteção às mesmas. Após quatro ecdises, as formas jovens passam a medir cerca de 10 mm de comprimento, emergindo as formas adultas, que passam a viver na parte aérea da planta, sugando os colmos e saltando de colmo em colmo, por um período de 20 dias, após os quais completam o ciclo, que é de 30 a 40 dias (GALLO et al., 2002).

O ciclo biológico da cigarrinha-das-raízes ocorre no período de chuvas e normalmente os insetos desaparecem na seca, quando os ovos permanecem em diapausa (GUAGLIUMI,1973).

Na região Centro-Sul, o seu ciclo inicia-se em setembro/outubro, quando as ninfas começam a emergir dos ovos diapáusicos, logo após as primeiras chuvas da primavera, com a população de ninfas atingindo o ápice em dezembro/janeiro e reduzindo-se significativamente em abril, com o final das chuvas e início do inverno. No entanto, apesar de a flutuação populacional desse inseto seguir, de maneira geral, esse modelo, podem ocorrer variações, principalmente em função do regime de chuvas. Assim, em regiões nas quais ocorre um período de estresse hídrico em janeiro/fevereiro, as populações podem reduzir-se nesse período, voltando a crescer em seguida. Dessa forma, há dois picos populacionais: um, principal, em dezembro/janeiro e outro menor, em março. Por outro lado, em locais ou anos úmidos o período de ocorrência da praga estende-se ligeiramente (DINARDO-MIRANDA, 2003).

2.1.4 Comportamento alimentar e danos em cana-de-açúcar

As ninfas de *M. fimbriolata*, ao se alimentarem, introduzem seu aparelho bucal através da epiderme das raízes e radicelas das plantas, atravessando todo o córtex e atingindo o cilindro vascular, de onde retiram seu alimento (GARCIA, 2006; STINGEL, 2005). A saliva liberada é rica em enzimas e aminoácidos que auxiliam o inseto no processo de digestão do alimento, mas são tóxicos para a planta, causando necrose nos tecidos radiculares (FEWKE, 1969; DINARDO-MIRANDA, 2003).

Estudos sobre o sítio de alimentação da cigarrinha-das-raízes demonstraram que os adultos introduzem o estilete, preferencialmente, através dos estômatos, atingindo o metaxilema nos feixes vasculares, atravessando, portanto, as células do parênquima clorofiliano (GARCIA, 2006). Ao sugarem a seiva das folhas, os adultos injetam saliva tóxica nos estomas, local onde são armazenadas a água e as substâncias que se transformam em nutrientes para a planta, durante a fotossíntese (DINARDO-MIRANDA, 2003).

Em decorrência da toxina injetada pelos adultos, surgem pequenas manchas amareladas nas folhas, que, com o passar do tempo, tornam-se avermelhadas e, finalmente, opacas, reduzindo, sensivelmente, a capacidade fotossintética das folhas e o conteúdo de sacarose do colmo. As perfurações dos tecidos pelos estiletes infectados por microorganismos provocam a contaminação do líquido nutritivo, causando deterioração de tecidos nos pontos de crescimento

do colmo e, gradualmente, dos entrenós inferiores até às raízes subterrâneas, podendo levar à morte do colmo (MACEDO et al., 2003).

Gallo et al. (2002) relatam que a deterioração dos vasos lenhosos das raízes, provocada pela alimentação das ninfas, dificulta ou mesmo impede o fluxo de água e de nutrientes, causando, conseqüentemente, a morte das raízes e a alteração da fisiologia da planta, o que pode ser caracterizado pelo surgimento de colmos ocos e afinados.

Os colmos mortos e secos, em decorrência do ataque da praga, diminuem a capacidade de moagem e, como muitas vezes estão rachados e deteriorados, os contaminantes dificultam a recuperação de açúcar e inibem a fermentação, reduzindo, portanto, os rendimentos industriais e a qualidade do açúcar (DINARDO-MIRANDA et al., 2004a).

Dinardo-Miranda et al. (2002) observaram, em estudo conduzido em área com a cultivar SP80-1816, que as parcelas testemunhas, mantidas sob infestação da cigarrinha-das-raízes, apresentaram produtividade de açúcar 45% inferior às parcelas tratadas com inseticidas. Ainda segundo Dinardo-Miranda et al. (2004b), na ausência de cigarrinhas-das-raízes, houve produção de cerca de 37% a mais de açúcar. Em 2003, Dinardo-Miranda constatou que os danos causados pelo ataque da cigarrinha-das-raízes podem variar com a época de colheita do canavial. Resultados de experimentos realizados em áreas comerciais estimaram que em canaviais colhidos no início da safra (abril a junho) a cigarrinha pode causar entre 8 e 10% de redução na produtividade de açúcar, enquanto que para canaviais colhidos no meio (junho a setembro) e no final da safra (setembro a dezembro), as perdas podem variar de 20 a 30% e de 30 a 50%, respectivamente.

Estudo conduzido em campo por Dinardo-Miranda et al. (1999) indicou que as perdas causadas pela praga, em infestações severas, podem ser significativas em função da época de colheita e da cultivar empregada. Foram constatadas reduções de até 44,8% (64,8 $t \cdot ha^{-1}$) na produtividade do primeiro para o segundo corte nas colheitas de outubro, enquanto que, para a colheita de maio, a redução foi de apenas 7,1%. A mesma autora, entretanto, ressalta que, para uma medida mais precisa dos danos causados pela cigarrinha, é necessário adicionar às reduções na produtividade agrícola e de açúcar, os prejuízos nos processos industriais.

2.1.5 Técnicas de amostragem

A estratégia de controle da cigarrinha-das-raízes deve iniciar-se com o monitoramento da praga (MENDONÇA, 1996; ALMEIDA et al., 2004) por meio de diversas amostragens. Como as ninfas começam a eclodir dos ovos em diapausa, cerca de 15 a 20 dias após as primeiras chuvas da primavera, os levantamentos populacionais devem ser iniciados nessa ocasião, quando as primeiras formas jovens são observadas em campo, devendo-se começar o levantamento por áreas cultivadas com as variedades mais suscetíveis (DINARDO-MIRANDA, 2003).

O plano de amostragem da cigarrinha-das-raízes em cana-de-açúcar, sugerido por Dinardo-Miranda (2003), consta da tomada de dois pontos amostrais por hectare, sendo cada ponto constituído por 2 metros de sulco. Stingel (2005), no entanto, sugere que o plano de amostragem mais adequado, para essa praga nessa cultura, consiste na tomada de 18 amostras de 1 metro linear por hectare, distribuídas na área de forma aleatória.

O nível de dano econômico (NDE) dessa praga é de 20 ninfas/m linear de sulco e um adulto/cana e o nível de controle (NC), de 2 a 4 ninfas/m e 0,5 a 0,75 adulto/cana, de acordo com Mendonça (1996). Já Dinardo-Miranda (2003) sugere que o nível de dano esteja entre 4 e 12 insetos/m, ficando mais próximo do limite inferior (4 insetos/m) para canaviais colhidos no final de safra e, no limite superior (12 insetos/m) para canaviais colhidos no início de safra. Isso porque já foi comprovado que os danos causados pelas cigarrinha-das-raízes variam de acordo com a época da colheita (DINARDO-MIRANDA et al., 1999).

No caso de ser empregado o fungo *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. para o controle da cigarrinha-das-raízes, Loureiro et al. (2005) sugerem que o NC seja de uma cigarrinha por metro linear ou logo que se observarem as primeiras ninfas atacando a cana nos meses de setembro ou outubro, devido à lentidão desse tipo de controle.

2.1.6 Métodos de controle

Entre os métodos de controle de *M. fimbriolata*, citam-se, o físico, o cultural, o biológico e o químico (MACEDO et al., 2003).

Como método físico pode-se fazer o afastamento mecânico ou a retirada da palha da linha de cana, o que propicia menor infestação quando comparada à situação normal de palha, resultando em menor dano à lavoura, embora não evite totalmente a ocorrência da praga.

O acúmulo de palha no canavial deixa-o mais úmido, contribuindo para o incremento populacional da cigarrinha, de acordo com Dinardo-Miranda (2003). Assim, a retirada ou o afastamento da palha de cima da linha da cana contribui para reduzir as populações da praga, por manter as linhas de cana mais secas, devido à maior incidência dos raios solares. Ainda segundo a autora (Dinardo-Miranda, 2002), em amostragens conduzidas em canaviais da cultivar SP77-5181, o afastamento da palha reduziu as populações de cigarrinha, durante o pico populacional, em cerca de 85%, passando de 20,2 insetos por metro, nas áreas com palha, para 2,7 insetos por metro, nas áreas submetidas ao afastamento da palha.

A prática de despalha de cana a fogo, antes da colheita, contribui para a destruição significativa de todas as formas biológicas da cigarrinha, especialmente dos ovos em diapausa (BALBO JR.; MOSSIM, 1999, DINARDO-MIRANDA et al.,2004). No entanto, em áreas severamente infestadas, somente o fogo não é suficiente para reduzir as infestações de cigarrinha a níveis não problemáticos, pois, ovos permanecem viáveis, já que o fogo na pré-colheita aquece somente a camada superficial do solo (DEGASPARI et al., 1983, DINARDO-MIRANDA, 2003). Apesar de reduzir as infestações da cigarrinha, em algumas situações, o fogo na pré-colheita é de uso bastante restrito, por força da legislação ambiental (DINARDO-MIRANDA, 2003).

O método cultural consiste no emprego de variedades resistentes, o qual é, hoje, praticamente inviável porque, embora tenham sido observadas variações significativas nos níveis de infestações e de danos conforme as variedades; na prática, todas as variedades cultivadas comercialmente sofrem ataque e estão sujeitas a perdas expressivas quando a pressão de população na área é elevada. Neste caso, o máximo que pode ser feito é reduzir a participação de variedades suscetíveis no contingente de variedades plantadas (MACEDO; MACEDO, 2004). Almeida et al. (2004) sugerem também, como forma de controle cultural, a rotação de cultura com leguminosas, a queima da palhada ou o enleiramento nas entrelinhas, e o uso de variedades resistentes.

No que concerne ao método de controle biológico, os inimigos naturais da cigarrinha-das-raízes atuam em maior ou menor grau no seu controle, devendo-se, portanto, adotar medidas que visem a manter e/ou aumentar as populações dos mesmos. É conhecida a ação do parasitóide de

ovos, *Anagrus urichi* Pickles; do predador de ninfas, *Salpingogaster nigra* Schin. e dos fungos entomopatogênicos *Batkoa apiculata* (Thaxter) e *M. anisopliae* (RAMPELOTTI, 2007). Nematóides também têm sido encontrados naturalmente atacando a cigarrinha-das-raízes, porém são ainda bastante escassos os estudos conclusivos recomendando esses agentes como alternativa de controle dessa praga (ALMEIDA et al., 2002).

O controle biológico mais empregado está baseado em aplicações, em diferentes formulações, do fungo *M. anisopliae* (BATISTA-FILHO et al., 2003), associado ou não ao controle químico (GARCIA, 2006; RAMPELOTTI, 2007). Conforme Dinardo-Miranda (2003), a ocorrência natural desse fungo atacando cigarrinha-das-raízes em canaviais de todo o país é bastante comum e incentiva o uso desse agente de controle biológico em áreas infestadas pela praga.

Atualmente, o fungo *M. anisopliae,* encontrado no comércio, é multiplicado em grãos de arroz e pode ser adquirido no arroz ou em esporos já isolados do arroz (DINARDO-MIRANDA, 2005). O isolado empregado varia conforme as unidades produtoras, assim como a dose aplicada que varia de 1 a 10 $kg \cdot ha^{-1}$ de arroz, com quantidades de esporos variáveis por grama de arroz, aplicados uma ou várias vezes durante o período de ocorrência da praga, em pulverizações de calda contendo os esporos lavados do arroz ou pela distribuição direta dos grãos de arroz no campo. Devido à tamanha variação, o emprego do fungo nem sempre mostra resultados animadores (DINARDO-MIRANDA, 2003).

Embora o controle biológico deva ser priorizado, aplicações de *M. anisopliae* às vezes mostram resultados pouco satisfatórios, especialmente sob altas infestações iniciais da praga. Nesses casos, o controle químico é mais eficaz (DINARDO-MIRANDA, 2005).

O método de controle químico da cigarrinha-das-raízes, por meio da aplicação de produtos de alta ação sistêmica, como aldicarb, carbofuram, bastante utilizados inicialmente, mas que cederam espaço ao thiamethoxan e imidacloprid, tem-se mostrado, até o momento, a alternativa mais eficiente em termos de controle, levando-se em conta o aspecto econômico. As pesquisas recentes têm indicado que os maiores ganhos em termos de controle e produtividade têm sido obtidos com uma única aplicação do produto feita no intervalo entre a 1ª e a 2ª geração da praga, assim que esta atingir o nível de controle (BATISTA-FILHO et al., 2003).

Resultados de pesquisa de campo realizada por Dinardo-Miranda et al. (2004c), visando avaliar a influência da época de aplicação de inseticidas no controle de *M. fimbriolata* na

qualidade e na produtividade da cana-de-açúcar, mostraram que o controle realizado até dezembro resultou em incrementos significativos de produtividade da cultura. Segundo os autores, embora alguns inseticidas tenham reduzido as populações da cigarrinha, quando aplicados em janeiro e em doses menores, não ocorreram incrementos significativos de produtividade, possivelmente porque a praga já havia danificado irreversivelmente a cultura.

Avaliando a eficiência de inseticidas no controle de cigarrinhas-das-raízes em cana-de-açúcar, Dinardo-Miranda e Ferreira (2004) observaram que somente o produto thiamethoxan manteve-se eficiente até aos 90 dias após a aplicação, enquanto que a eficiência dos demais inseticidas testados não superou os 50 dias.

Loureiro et al. (2005), no entanto, sugerem que a aplicação de defensivos naturais ou químicos para controle de *M. fimbriolata* seja feita somente em casos de superpopulações, buscando-se manter o equilíbrio, uma vez que, segundo Macedo et al. (2003), tais produtos podem ocasionar desequilíbrios ao agroecossistema da cana-de-açúcar, prejudicando o controle de pragas que, tradicionalmente, são controladas biologicamente.

Visando evitar tais desequilíbrios biológicos, Loureiro et al. (2005) relatam a necessidade de se pesquisar novos ingredientes ativos, formulações e formas de aplicação que sejam compatíveis com as práticas agronômicas atuais nessa cultura, procurando, dessa forma, a preservação do agroecossistema.

Devido à grande extensão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar, são observadas muitas variações de condições edafoclimáticas, tratos culturais, variedades, nível populacional da praga, entre outros fatores que interferem na eficiência de medidas de controle. Desta forma, o manejo bem sucedido da cigarrinha-das-raízes deve englobar todas as ferramentas disponíveis, pois, para cada situação, uma delas se mostrará mais adequada. Dificilmente uma única ferramenta de controle será eficiente em todas as condições de cultivo dessa cultura (DINARDO-MIRANDA, 2003).

2.1.7 Resistência de cana-de-açúcar a cigarrinhas

Segundo Painter (1951), resistência de plantas é a soma relativa de qualidades hereditárias possuídas pela planta que influenciam o grau de injúria que o inseto causa ao se alimentar da mesma, ou seja, representa a capacidade que certas plantas possuem de alcançarem maior e

melhor produção quando comparadas com outras cultivares em igualdade de condições. Ela pode ser expressa por características morfológicas desfavoráveis ao inseto fitófago, como presença de tricomas ou de compostos secundários (substâncias não-nutritivas), sintetizadas pelas plantas, com a finalidade de protegê-las contra predadores (SEIGLER; PRICE, 1984). A resistência é específica, isto é, depende das condições ambientais em que a planta está inserida para se manifestar. Para se considerar que uma planta é resistente, sua progênie deve também ser resistente à praga em questão, sendo, portanto um caráter hereditário (LARA, 1991).

A resistência de plantas a insetos é o método mais indicado para controle das cigarrinhas, pois apresenta a vantagem do baixo custo aliado à facilidade de ser assimilado e adotado pelo produtor, uma vez que o controle estará sendo efetivado simplesmente por meio da aquisição de sementes (KOLLER; VALÉRIO, 1987; LAPOINTE; SONODA, 2001).

As informações disponíveis na literatura sobre resistência de cana-de-açúcar à *M. fimbriolata* são escassas. Cultivares como RB825336, SP80-1842, SP81-3250, SP80-3280, SP80-1816, SP79-2233, SP77-5181, RB835486, SP70-1143, RB845257, SP79-1011, RB855536 e a RB72454 são consideradas suscetíveis, embora a última seja um pouco menos atacada (DINARDO-MIRANDA et al., 2003).

No passado, cultivares como POJ 2878, Caiana, Pitu e Criola, já retiradas do mercado, foram testadas e apresentaram maior suscetibilidade ao ataque de adultos de *Mahanarva rubicunda indentata* Walker (Hemiptera: Cercopidae). Já as cultivares CO 331 e CP-5122, por apresentarem disposição fechada das bainhas foliares, dificultam a entrada e o desenvolvimento de ninfas e as cultivares CB-5022, CB-4077 e CB47355 apresentam certa resistência pois, ao soltarem as folhas velhas, expõem as ninfas a fatores abióticos e a inimigos naturais (GUAGLIUMI, 1973).

Ao confrontarem informações de campo e parâmetros biológicos obtidos em laboratório, alguns autores (FEWKES, 1942; GARCIA et al., 2006) observaram fortes evidências de que as cultivares influenciam, em maior ou menor grau, a incidência de cigarrinha-das-raízes. Mas, embora haja diferenças entre as cultivares, quase a totalidade das cultivadas comercialmente é atacada pela praga e sofre significativa redução na produtividade e na qualidade tecnológica (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

2.2 Considerações gerais sobre silício

2.2.1 Silício no solo e nas plantas

O silício (Si) geralmente não é incluído entre o grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. É constatado, no entanto, que o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, aveia, trigo, milho, grama-kikuio, grama-bermuda etc.) são beneficiados com o aumento da disponibilidade de Si para as plantas (ELAWAD; GREEN, 1979; SILVA, 1973; KORNDÖRFER, 2006).

A concentração média de Si na litosfera é de 27%, variando entre 23 e 35% nos solos, onde ocorre principalmente no mineral inerte das areias, o quartzo (SiO_2), bem como na caulinita e em outros elementos de argila (RAIJ, 1991).

Embora o conteúdo de silício nos solos minerais seja normalmente alto, pouco dele está disponível para as plantas, devido à sua baixa solubilidade (ESSER, 2002; KORNDÖRFER, 2006). Além disso, cultivos sucessivos podem reduzir ainda mais o teor desse elemento disponível no solo, a ponto de ser necessária uma fertilização silicatada suplementar para a obtenção da produtividade máxima. Alguns solos, no entanto, contêm pouco silício disponível no seu estado nativo. Tais solos são tipicamente muito intemperizados, lixiviados, ácidos e com baixa saturação por bases (DATNOFF et al., 2001). Esser (2002) relatou que áreas tropicais úmidas, com solos altamente intemperizados, são também, em geral, pobres em silício. Para Matichenkov e Bocharnikova (2001), a adubação silicatada é necessária em todos os solos, exceto naqueles com altos teores desse elemento, como os solos vulcânicos jovens ou oriundos de zonas com um tipo de morfologia extremamente acumulativa em silício.

Com a intemperização dos minerais, o silício forma na solução do solo, sob pH abaixo de 9,0, o ácido monossilícico, o qual pode ser adsorvido por óxidos de Fe e Al (FAQUIN, 1994). Outras fontes de ácido monossilícico para o solo são a decomposição de resíduos vegetais, a dissociação do ácido silícico polimérico, a liberação do silício dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, a adição de fertilizantes silicatados e a água de irrigação. Os principais drenos incluem a precipitação do silício em solução formando minerais, a polimerização do ácido silícico, a lixiviação, a adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, e a absorção do mesmo pelas plantas (BATISTA-FILHO et al., 2000).

Algumas espécies de gramíneas, por exemplo, cana-de-açúcar e arroz, principalmente, chegam a acumular na folha quantidades de Si entre 10 e 50 $g \cdot kg^{-1}$ de sua matéria seca (DINARDO-MIRANDA et al., 2008). Como comparativo, pode-se citar o caso do fósforo (P), onde as mesmas culturas mencionadas acima, quando bem nutridas, chegam a acumular de 1,8 a 2,2 $g \cdot kg^{-1}$ de P na folha (ORLANDO-FILHO, 1993).

Segundo Raij (1991), os teores de silício nas gramíneas chegam a ser de 10 a 20 vezes maiores do que nas dicotiledôneas. Isso se dá pelo fato de as gramíneas absorverem o silício da solução do solo de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo de água que penetra pelas raízes, enquanto que as dicotiledôneas apresentam mecanismos que evitam a absorção de quantidades elevadas desse nutriente.

Entre as múltiplas funções do silício em benefício às plantas, cita-se o seu papel na complexação do alumínio presente na solução do solo, formando Al-Si, reduzindo, assim, a toxidez desse elemento para os vegetais (ZSOLDOS et al., 2003). Nas raízes, o silício se polimeriza em sílica, a qual age reduzindo a captação de manganês pelas plantas, aliviando, dessa maneira, estresses causados por esse elemento (DATNOFF et al., 2001).

No caule, a deposição de sílica aumenta a resistência do mesmo e previne o acamamento. Nas folhas, assim como nas raízes, a deposição do Si modifica a distribuição do manganês, reduzindo a sua toxidez e a transpiração da planta, aliviando estresses hídricos e salinos, além de contribuir para a manutenção das folhas eretas, diminuir os efeitos causados pelo excesso de nitrogênio e aumentar a resistência das plantas a estresses bióticos (MA; TAKAHASHI, 2002).

O acúmulo de sílica nos órgãos de transpiração leva à formação de uma dupla camada de sílica, logo abaixo da epiderme, agindo como barreira mecânica contra a invasão de fungos e insetos (KORNDÖRFER et al., 2004).

Korndörfer (2005) relatou que o aumento na disponibilidade de silício no solo é normalmente acompanhado por acréscimo no conteúdo de silício nas plantas, resultando em aumento no crescimento e na produtividade de diversas gramíneas, especialmente arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, braquiária, aveia, trigo e milho, e em algumas espécies não-acumuladoras como soja, feijão, morango e pepino.

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 Havaí, as folhas contendo menos de 0,5% de silício apresentam freqüentemente um sintoma denominado *freckling*. A causa deste

sintoma é, ainda, bastante controvertida, porém a maioria dos pesquisadores o atribui à falta de Si e a desequilíbrios nutricionais, sendo que a planta responde favoravelmente à adubação silicatada, particularmente em solos pobres em Si (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995).

O monocultivo da cana-de-açúcar possui enorme potencial de remoção desse nutriente, podendo remover até 300 $kg \cdot ha^{-1}$ de SiO_2 para uma produção de 100 $t \cdot ha^{-1}$ de cana. Essa remoção pode ser ainda maior, chegando a 500 $kg \cdot ha^{-1}$ de SiO_2, em situações onde a produtividade é mais elevada. Nestas condições, o ácido monossilícico presente nos solos é rapidamente absorvido pela cana-de-açúcar e os teores de Si nos solos podem diminuir rapidamente (KORNDÖRFER et al., 2002; 2004). Conforme esses mesmos autores, a adubação silicatada da cana-de-açúcar aumenta a eficiência fotossintética, a resistência ao ataque de pragas e doenças e a 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 redução nos danos causados por geada e melhoria na arquitetura dessa planta.

A aplicação de escória de siderurgia, produto à base de silicato de cálcio, reduziu significativamente a senescência das folhas de cana-de-açúcar, conforme Prado e Fernandes (2000). Para esses autores, o uso dessa escória 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 Mauricius, o uso de silicato de cálcio na dose de 7,1 $t \cdot ha^{-1}$ proporcionou aumento de produção durante um ciclo de avaliação de 6 anos da cana-de-açúcar (KORNDÖRFER et al., 2002).

Para Berthelsen et al. (2003), os vários resultados positivos com a aplicação de silício para a cana-de-açúcar indicam claramente que esse nutriente deveria ser tratado como parte integral de qualquer prática de fertilização associada a essa cultura.

2.2.2 Diferentes fontes de silício

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 atualmente em uso no Brasil (KORNDÖRFER et al., 2002).

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; KVEDARAS et al., 2007), insetos que se alimentam no floema (CORREA et al., 2005; GOUSSAIN et al., 2005) e folívoros (KORNDORFER et al., 2004; REDIMOND; POTTER, 2007).

Em todos estes casos, exceto nos dois casos com insetos folívoros, a aplicação de silicato de cálcio produziu uma redução significativa no desenvolvimento do inseto e no dano à planta. Nos casos em que a aplicação de silicato não resultou em efeitos sobre o inseto ou sobre o dano à planta (KORNDÖRFER et al. 2004; REDMOND; 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 $t \cdot ha^{-1}$.

O silicato de cálcio já foi utilizado também em solução aquosa via foliar em pesquisas com mosca-branca, *Bemisia tabaci* Gennadius (CORREA et al., 2005) e tripes, *Thrips palmi* Karny (ALMEIDA et al., 2008) com reduções significativas no desenvolvimento do inseto e nos danos à planta.

Em alguns estudos com cana-de-açúcar, a fonte utilizada foram 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).

A solução de silicato de sódio (Na_2Si0_3) tem sido uma fonte líquida eficiente em vários estudos da interação Si/inseto (MORAES et al., 2004, 2005; HANISH, 1981; BASAGLI et al., 2003). O efeito do silicato de sódio foi positivo quando aplicado, por exemplo, no sorgo sob ataque de pulgões (CARVALHO et al., 1999; 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 em arroz (SUBBARAO; PERRAJU, 1976) e o outro com o minador *Liriomyza trifolli* (Burgess) em crisântemos (PARRELLA et al., 2007). Em ambos os estudos foi verificada uma interferência negativa sobre a população destes insetos com 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* Walker. As fontes utilizadas tiveram grande influência na absorção e

no dano causado pelo inseto. Estudos como este demonstram que o Si pode não estar muito disponível para a planta mesmo com diferentes fontes contendo este elemento em grande quantidade (KEEPING; MEYER, 2006; REYNOLDS et al., 2009).

2.2.3 Aplicações de silício foliar e via solo

Acredita-se que o silício aplicado via foliar se deposite na superfície das mesmas e desempenhe papel semelhante àquele absorvido via radicular, o que pode ser útil especialmente para as culturas onde a absorção passiva ou rejeitiva são predominantes (ALVAREZ; DATNOFF, 2001). Segundo esses autores, o silício aplicado via foliar pode ser responsável por efeitos protetores contra estresses bióticos, prevenindo o ataque por insetos e/ou tornando as células das plantas menos suscetíveis à degradação enzimática por fungos patogênicos.

Vários estudos mostraram aumento na resistência da planta contra estresses bióticos após aplicação do silício via foliar. A deposição e o aumento da solubilidade do Si nas folhas de trigo, após aplicação foliar via *spray* de solução de 1% de Na_2SiO_2 foi responsável pela resistência desta cultura aos afídeos *Metopolophium dirhodum* Walker e *Sitobion avenae* (Fabricius), conforme estudos de Hanish (1981). Este autor demonstrou que, após a aplicação de silicato de sódio nas folhas, a quantidade de células dos pêlos epidérmicos que apresentaram Si eram 70% maiores do que as plantas não tratadas, indicando a absorção e a translocação do Si naquelas que receberam este elemento.

Outros estudos compararam a aplicação de Si via foliar e via solo. Moraes et al. (2005) mostraram que, em milho, o número de afídeos *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) nos dois tratamentos: (1) folhas tratadas com duas aplicações de Si via foliar ou, (2) uma aplicação de Si via solo e uma aplicação adicional via foliar era significativamente menor quando comparado ao número de afídeos com apenas uma aplicação via solo ou apenas uma aplicação via foliar.

Em um estudo com livre chance de escolha com a mosca-branca *B. tabaci*, Correa et al. (2005) verificaram que o silicato de cálcio incorporado via solo resultou em redução no número de moscas-brancas no pepino. Já a aplicação foliar de silicato de cálcio, com e sem o indutor de resistência acibenzolar-S-methyl (ASM), reduziu a oviposição mais de três vezes em comparação ao grupo controle. Em ambos os métodos de aplicação de silicato de cálcio e ASM, ocorreu aumento no período de desenvolvimento do inseto e na mortalidade de ninfas.

Costa e Moraes (2006) demonstraram que a aplicação de Si (via foliar e via solo) ou do ASM reduziu significativamente o número de ninfas, a taxa de crescimento populacional e a longevidade de *S. graminum* em plantas de trigo, levando os autores a concluir que é bastante promissor o uso de Si no manejo integrado de pulgões em trigo. Mais tarde, em outro estudo, Costa et al. (2007) compararam a aplicação de ácido monossilícico foliar, o ASM e a combinação dos dois. Os resultados do experimento com ácido monossilícico revelaram que o número de pulgões na testemunha foi nove vezes maior do que o número encontrado nas plantas que receberam aplicação de Si. No segundo experimento, os tratamentos com ASM e, posteriormente, com silício (silicato de cálcio) ou apenas com ASM, tiveram menor aceitação pelos pulgões.

Matlou (2006) concluiu que as aplicações de Si via foliar, usando três fontes distintas em duas doses diferentes, foram ineficazes para aumentar a quantidade de Si em folha de sorgo (considerada uma planta acumuladora) cultivado em solo pobre em Si, enquanto a aplicação via solo resultou em aumentos significativos da concentração deste elemento na folha.

De qualquer forma, esta área ainda deve ser estudada já que não há evidências consistentes da absorção de Si pelas folhas (GUÉVEL et al., 2007).

2.2.4 Silício na indução de resistência de plantas a insetos

Os nutrientes minerais e os elementos benéficos às plantas, além de favorecerem o crescimento e a produção das plantas, podem também exercer efeitos secundários sobre estas como o aumento ou a diminuição na resistência e/ou tolerância a patógenos ou a pragas. Estes efeitos ocorrem devido a mudanças no padrão de crescimento, na morfologia, na anatomia e, particularmente, na composição química das mesmas, o que pode se caracterizar pelo surgimento de células epidérmicas mais espessas e pelo elevado grau de lignificação e/ou de silificação, além de modificações nas propriedades fisiológicas e bioquímicas, a partir de maior produção de substâncias repelentes ou inibidoras por parte das plantas (MARSCHENER, 1995).

O silício é o segundo elemento em maior abundância na crosta terrestre depois do oxigênio, mas sua importância no crescimento das plantas ainda não é bem compreendida. Entretanto, hoje já é bastante aceita a importância do Si como nutriente benéfico para as plantas quando sob efeito de estresses abióticos e bióticos. Insetos herbívoros representam apenas um tipo de estresse biótico para o qual o silício pode providenciar certa defesa, com conseqüentes

aumentos na produção, principalmente em cultivares suscetíveis (LAING; ADANDONON, 2005).

Ao ser acumulado pelas plantas, o silício proporciona mudanças anatômicas nos seus tecidos, como o surgimento de células epidérmicas mais espessas, em decorrência da deposição de sílica (EPSTEIN, 1999), resultando na formação de uma barreira mecânica capaz de dificultar o ataque de insetos sugadores e mastigadores (EPSTEIN, 1999). Pode, também, atuar como ativador da expressão de reações de defesa natural das plantas via produção de compostos fenólicos, entre outras substâncias químicas (LAING; ADANDONON, 2005).

Embora a deposição de Si nas células epidérmicas e sua ação protetora contra doenças e ataque de insetos já tenha sido bastante estudada (MA, 2004), existe uma crescente evidência que o Si também induza a produção de compostos químicos que atuariam contra doenças de plantas (MA, 2004; HAMMERSCHMIDT, 2005; FAUTEUX et al., 2006), mas foi constatado apenas um exemplo desta ação benéfica contra insetos (GOMES et al., 2005).

A ação do silício sobre os insetos herbívoros pode ser considerada de duas formas: ação direta e ação indireta (KVENDARAS; KEEPING, 2007).

Os efeitos diretos podem incluir a redução no crescimento e na reprodução do inseto, concomitantemente com uma redução do dano na cultura. São inúmeros os estudos que demonstraram o aumento de resistência em plantas com Si a insetos herbívoros e outros artrópodes (DJAMIN; PATHAK, 1967; MORAES et al., 2004, 2005; KVENDARAS et al. 2007 a; 2007b; 2009; KVEDARAS; KEEPING, 2007).

Os efeitos indiretos podem ser considerados como a diminuição ou o atraso da penetração do inseto na planta. Esta dificuldade reduziria o tempo de exposição da planta aos inimigos naturais, às condições climáticas adversas e às medidas de controle como o controle químico (KVEDARAS; KEEPING 2007). Os efeitos indiretos do silício podem também ocorrer por meio do aumento da tolerância da planta a estresses abióticos, como o hídrico, fortalecendo, conseqüentemente, a resistência contra o ataque de insetos (KVEDARAS et al 2007a). Recentes estudos na Austrália apontaram o potencial do Si em agir indiretamente no terceiro nível trófico, aumentando a atração de inimigos naturais de um inseto herbívoro específico (KVEDARAS et al., 2007; REYNOLDS et al., 2009a).

Vários artigos demonstraram o efeito do Si numa larga escala de guildas alimentares, incluindo Lepidoptera [e.g. *Chilo supressalis* Walker (NAKANO et al., 1961), *Chilo infuscatelus*

Snell (ANDERSON; SOSA, 2001), *Sesamia calamistis* Hampson (SÉTAMOU et al., 1993), *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (SUDHAKAR et al., 1991), *Scirpophaga excerptalis* Walker (GUPTA et al., 1992) e *E. saccharina* (KVEDARAS et al., 2007a; 2007b; KVEDARAS; KEEPING, 2007)], insetos folívoros [e.g. *Spodoptera exempta* Walker e *Schistocerca gregaria* Forskal (MASSEY et al., 2006)], insetos que se alimentam no floema [e.g. *Schizaphis graminum* Rondani (BASAGLI et al., 2003, MORAES et al., 2004*), Laodelphax striatellus* Fallén (LIU et al., 2007), *Sitobion avenae* (F.) (Hanisch, 1981)], alguns insetos que se alimentam no xilema [e.g. *Nilaparvata lugens* Stal (YOSHIHARA; SOGAWA, 1979)] e outros herbívoros [e.g. *Cylas formicarius* Fab. (SINGH et al., 1993)].

Massey et al. (2006) acreditam que a aplicação de Si é eficaz em defender a planta contra insetos folívoros, mas não contra insetos que se alimentam de floema. Tal diferença na atuação do Si dentro das diferentes guildas de alimentação foi contestada por Keeping e Kvedaras (2008).

O silício tem induzido resistência a insetos em muitas espécies de plantas, especialmente em gramíneas. Basagli et al. (2005) relataram que a aplicação foliar de silicato de sódio em plantas de trigo reduziu a preferência, a longevidade e a reprodução do pulgão-verde *S. graminum* nesta cultura. O número de ninfas nas folhas tratadas com silício foi 85% menor do que no tratamento controle, enquanto que a produção de ninfas pelas fêmeas desenvolvidas sobre folhas tratadas com silício foi 80% menor do que daquelas desenvolvidas sobre folhas não tratadas.

Goussain et al. (2005) também verificaram efeito adverso de plantas de trigo tratadas com silício sobre o desenvolvimento dessa mesma praga. Estes autores observaram redução no tempo de prova, ou seja, retirada mais freqüente dos estiletes das plantas por parte dos pulgões, além de redução na excreção de *honeydew*, indicando menor taxa de ingestão ou maior retenção de seiva no corpo do inseto.

A fertilização com silicato de cálcio em plantas de trigo, infestadas artificialmente com *S. graminum*, reduziu significativamente a população dessa praga. A menor colonização pelo afídeo foi observada no tratamento com pré-infestação de pulgão associada à fertilização silicatada, ao passo que a maior infestação ocorreu no tratamento controle (sem silício e sem pré-inoculação). Tal fato pode estar relacionado com a deposição de sílica no tecido das folhas, aumentando a sua dureza e dificultando a penetração do estilete do inseto. Verificaram também que a maior atividade das enzimas peroxidases (POX) e polifenoloxidases (PPO), ambas associadas à defesa

das plantas, no tratamento com silício associado à pré-infestação das plantas com o pulgão (GOMES et al., 2005).

Moraes et al. (2004), estudando a influência do silício na interação tritrófica: plantas de trigo, pulgão-verde e seus inimigos naturais, o predador *Chrysoperla externa* (Hagen) e o parasitóide *Aphidius colemani* Viereck, verificaram que a aplicação de silicato de sódio via solo e via foliar reduziu a preferência e a reprodução do pulgão em relação ao tratamento controle. Os números médios de ninfas produzidas nas plantas tratadas com silicato de sódio via solo e via foliar foram, respectivamente, 41,9 e 47,1% menores do que no controle. Padrão similar foi evidenciado para o número de adultos do pulgão. Não foi observado efeito indireto da aplicação do silício nas características biológicas, tanto do predador quanto do parasitóide, sugerindo que pode haver uma interação positiva entre resistência de plantas e controle biológico.

Carvalho (1998) relatou que a deposição de silício nas folhas e no caule de plantas de sorgo afetou negativamente a preferência e o desenvolvimento do pulgão-verde, além de uma redução de quase 50% na reprodução desse inseto.

Goussain et al. (2002) observaram maior mortalidade e aumento de canibalismo em grupos de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) ao final do 2º ínstar, e maior mortalidade de lagartas individualizadas no 2º e 6º ínstares, quando estas foram alimentadas com folhas de plantas de milho tratadas com silício. Constatou-se também um acentuado desgaste das mandíbulas das lagartas nos seis ínstares, quando estas se alimentaram de folhas apresentando maior concentração de silício. Foi sugerido que a aplicação de silício pode dificultar a alimentação de lagartas, causando aumento de mortalidade e de canibalismo, tornando, portanto, as plantas de milho mais resistentes a essa praga. Resultados semelhantes foram encontrados por Neri et al. (2005) que verificaram redução na preferência e no dano, e aumento da mortalidade de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com plantas de milho tratadas com silício mais lufenuron (regulador de crescimento de insetos).

A aplicação de metassilicato de sódio resultou no decréscimo da incidência das principais pragas da cultura do arroz. A ocorrência de *Sogatella furcifera* Horvath, *Nilaparvata lugens* Stål, *Omiodes indicata* Fabricius e *Elasmopalpus lignosellus* Zeller por planta de arroz foi reduzida a 1,8; 1,7; 7,6; e 6,3%, respectivamente (BALASUBRAMANIAM et al., 2005).

Lorini (2001) e Lorini et al. (2001) mencionam o efeito benéfico do silício também no controle de pragas de grãos armazenados. Estes autores verificaram que pós à base de terra de

diatomáceas, apresentando dióxido de sílica como principal ingrediente, mostrou-se eficiente na redução da infestação de pragas de grãos de milho e de cevada. A sílica presente nesse produto tem a capacidade de desidratar os insetos, matando-os em período variável de um a sete dias, dependendo da espécie-praga.

Por ser considerada uma cultura acumuladora de Si, a cana-de-açúcar vem apresentando resultados interessantes com relação ao controle de várias de suas pragas. Estudos recentes enfatizam o papel importante da aplicação do Si no aumento da resistência da cana-de-açúcar a *E. saccharina*, o mais importante fator limitante da produtividade da indústria de açúcar na África do Sul (MEYER, KEEPING, 2005). Keeping e Meyer (2002) demonstraram que a aplicação de silicato de cálcio na dose de 5.000 $kg \cdot ha^{-1}$, correspondente a 500 $kg \cdot ha^{-1}$ de Si puro, aumentou significativamente a resistência da cana-de-açúcar a essa mesma praga, com redução média de 24% no dano da broca.

Pesquisas apresentam maior benefício do tratamento com silício para as cultivares de cana-de-açúcar suscetíveis à praga do que para as resistentes. O emprego de silício na dose de 1.200 $kg \cdot ha^{-1}$ elevou significativamente a resistência da cana-de-açúcar a *E. saccharina*, reduzindo, em média, de 27,9 a 41,7% o dano e de 13,5 a 43,9% a sobrevivência dessa praga, com tendência de decréscimo na suscetibilidade com o aumento das doses de Si nos tratamentos entre as cultivares suscetíveis (KEEPING et al., 2004). Em outro estudo, esses mesmos autores verificaram redução de 14 a 26% no peso e de 37 a 59% na sobrevivência dessa mesma praga, com a aplicação de silício. Considerando-se a dose mais alta de silício aplicada, o dano dessa praga foi reduzido, em média, de 34% nas cultivares suscetíveis e de 26% nas resistentes, suportando o argumento de que as cultivares suscetíveis se beneficiam mais dos tratamentos com silício do que as resistentes.

Estudo sobre o sinergismo entre o silício e o estresse hídrico na resistência de cultivares de cana-de-açúcar a *E. saccharina* evidenciou que o acúmulo de silício nos colmos da cana reduziu o peso, a sobrevivência e o dano causado pela broca, especialmente nas cultivares suscetíveis a essa praga, sob condições de estresse hídrico. O aumento da resistência promovida pelo silício foi tal, que o desempenho e o dano do inseto nessas plantas aproximaram-se daqueles das cultivares resistentes, mostrando que o silício aumenta a resistência de plantas hospedeiras de insetos-pragas sob condições de estresse hídrico.

Meyer e Keeping (2005) verificaram que a aplicação de silício combinada à adubação nitrogenada na cana-de-açúcar pode compensar o efeito do nitrogênio sobre o aumento da suscetibilidade dessa cultura a *E. saccharina*. Segundo esses autores, na ausência de silício, o tratamento com nitrogênio aumentou a suscetibilidade, em média, em 68 e 208% para a menor e a maior dose, respectivamente, considerando-se todas as cultivares. A aplicação de 200 $kg \cdot ha^{-1}$ de Si teve impacto significante na redução dos efeitos promovidos pelo nitrogênio na sobrevivência e no dano da broca, com redução média de 47% nos colmos broqueados no conjunto das cultivares suscetíveis.

Korndorfer (2006) verificou que o acúmulo de silício em plantas de *Davilla elliptica* (Dilleniaceae) St. Hil resultou em folhas mais duras e com maior número de tricomas, refletindo na redução da herbivoria por parte de insetos.

Recentemente, um estudo realizado por Reynolds et al. (2009) mostrou que o silício pode melhorar a defesa da planta hospedeira através do terceiro nível trófico, intensificando a atração de inimigos naturais e o conseqüente controle biológico pela indução de resistência da planta, provavelmente por diferentes voláteis e/ou pela quantidade de voláteis produzidos pela planta atacada por insetos.

A indução de resistência em plantas tem boas perspectivas, principalmente por ser de baixo custo, causar menor impacto ambiental do que o uso de inseticidas, além de poder ser induzida rapidamente em genótipos suscetíveis (CARVALHO, 1998). É um componente viável do manejo integrado de pragas, pois não deixa resíduo nos alimentos ou no ambiente, poder ser facilmente integrado com outras práticas de manejo, inclusive com controle biológico (LAING; ADANDONON, 2005) devendo, portanto, ser valorizada e incrementada na busca do estabelecimento do equilíbrio dos agroecossistemas (CARVALHO, 1998).

2.3 Compostos fenólicos na defesa de plantas contra insetos-praga

Devido à ameaça causada por insetos e microrganismos, as plantas desenvolveram uma infinidade de compostos químicos e estruturas que estão incorporados em seus tecidos para fins de proteção. Alguns destes compostos ocorrem em todas as situações, outros são induzidos (KERRY et al., 2004).

Os fenóis constituem uma grande classe destes metabólitos secundários de plantas que incluem flavonóides e vários ácidos fenólicos. Após os trabalhos de Elliger et al. (1980), houve aumento no interesse sobre a função destes compostos nas plantas, assim como sua interação com outros organismos e fatores ambientais. Os compostos fenólicos podem atuar sobre insetos como deterrentes de alimentação ou antibióticos (SERRATOS et al., 1987; KESSLER; BALDWIN, 2002), e através da fortificação da parede celular (BERGVINSON et al., 1997), sendo que a maior concentração de alguns destes compostos podem ser induzidos em plantas pela alimentação do inseto (KARBAN; BALDWIN, 1997).

A atuação de compostos fenólicos como mecanismo de defesa contra herbívoros é a tendência central para várias teorias de defesa (LOOMIS, 1932; FEENY, 1976; BRYANT et al., 1983; COLEY et al., 1985) e o seu papel como componente de defesa das plantas é baseado em numerosos estudos que demonstram sua toxicidade para os herbívoros quando incorporados em dietas artificiais (ELLIGER et al., 1981), ou em cima de abordagens holísticas que envolvem a correlação do teor de compostos fenólicos em plantas com a herbivoria ou o desempenho do herbívoro (DUDT SHURE, 1994). Além disso, a herbivoria tem sido proposta como um agente primário seletivo para compostos fenólicos durante a evolução das plantas (HARBORNE, 1979). No entanto, em alguns casos, fenóis (por exemplo, o ácido caféico e o ácido protocatecuico) são conhecidos por estimular a alimentação e/ou crescimento em certas espécies de insetos (BERNAYS; WOODHEAD, 1982).

Os compostos fenólicos são convertidos em vários derivados, incluindo fitoalexinas (ação antimicrobiana), cumarinas (anticoagulantes orais), vários flavonóides e taninos condensados (deterrentes de alimentação) e lignina (fornecem força à parede celular) (CHAN et al., 1978; SWAIN, 1979; SALISBURY; ROSS, 1992).

Embora vários estudos já tenham demonstrado a função de defesa dos compostos fenólicos, apenas recentemente foram realizados estudos sobre a importância do silício na formação destes compostos. Grande parte dos estudos realizados neste sentido comprova esta hipótese para interações planta-patógenos, porém poucos foram realizados levando em consideração as interações planta-herbívoro.

A proteção conferida às plantas pelo silício pode estar relacionada ao seu acúmulo e polimerização nas células, formando uma barreira mecânica que torna difícil o ataque de insetos-praga (YOSHIDA et al., 1962). No entanto, barreiras mecânicas não são o único mecanismo de

defesa contra agentes externos, sendo que esta função do silício, como reforço da resistência mecânica, foi questionada por Menzies et al. (1991) e Samuels et al. (1991). Segundo Chérif et al. (1992), o silício está relacionado com reações específicas de defesa das plantas. Estudos com pepino (*Cucumis sativus* L.) têm demonstrado maior resistência das plantas tratadas com silício a *Pythium* spp. e *Sphaerotheca fuliginea* (Schlecht.) Poll., a qual é resultante do acúmulo de compostos fenólicos, lignina e fitoalexinas (CHÉRIF et al., 1992a; 1992b; 1994; FAWE et al., 1998).

O acúmulo de silício foi detectado ao redor das hifas de fungos e de células infectadas (DATNOFF et al., 1997; BÉLANGER et al., 1995), assim como compostos fenólicos e quitinases também se acumulam rapidamente nestas células infectadas do hospedeiro (MENZIES et al., 1991b; CHÉRIF et al., 1994; BÉLANGER et al., 1995). Foi então observado que as células infectadas de plantas de pepino tratadas com silício acumularam compostos fenólicos muito mais rapidamente e em maior quantidade do que as células infectadas das plantas não tratadas com silício (CHÉRIF et al., 1992; MENZIES et al. 1991b). Portanto, parece provável que a adubação com Si reduz a suscetibilidade a doenças, principalmente pela estimulação das defesas vegetais (BÉLANGER et al., 1995; DATNOFF et al., 1997). No entanto, ainda é possível que células epidérmicas já silicificadas possam desempenhar algum papel de inibição de doenças (BÉLANGER et al., 1995; DATNOFF et al., 1997).

As plantas tratadas com silício, provavelmente, desencadeiam mecanismos naturais de defesa, como por exemplo, a produção de compostos fenólicos, quitinases, peroxidases e acúmulo de lignina (CHÉRIF et al., 1994; EPSTEIN, 1999; GOMES et al., 2008a), o que poderia interferir no crescimento e desenvolvimento de insetos-praga.

Como dito anteriormente, a cana-de-açúcar é uma planta que absorve grandes quantidades de Si do solo e muitos compostos fenólicos são conhecidos a partir da cana-de-açúcar e de seus subprodutos (WILLIAMS et al., 1974; MARBY et al., 1984; MCGHIE, 1997).

Atualmente existem poucas informações sobre a resposta fisiológica da cana à cigarrinha-das-raízes *M. fimbriolata*. O ataque dessa praga pode causar tanto perdas diretas afetando a produtividade como perdas indiretas, como a redução do teor de sacarose em função da utilização desses metabólitos para a síntese de compostos de defesa do vegetal contra o inseto, como, por exemplo, os compostos fenólicos (BUCHANAN et al., 2002; TAIZ; ZEIGER, 2004; SILVA et al., 2005). Além disso, o aumento da concentração desses compostos no caldo provoca o

escurecimento do cristal de açúcar produzido (SIMIONI et al., 2006; MADALENO et al., 2008), sendo que o processo de clarificação, na produção de açúcar, pode não remover o excesso de compostos fenólicos. Estes podem reagir com o ferro (Fe) (GODSHALL, 1999), ou se oxidarem e ficarem inclusos no momento de formação do cristal de açúcar, aumentando a intensidade da cor do cristal, que influencia negativamente na qualidade final do produto. Cabe destacar ainda que o aumento da concentração de compostos fenólicos diminui a viabilidade e o brotamento de leveduras, interferindo na capacidade fermentativa e, conseqüentemente, na produção de etanol (RAVANELI, 2005).

A caracterização dos tipos e das quantidades de fenóis em resposta à herbivoria é importante para compreender a interação planta-herbívoro, e é útil para desenvolver novas estratégias de controle e para programas de melhoramento de plantas com base na resistência (SILVA et al., 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos no Departamento de Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, ESALQ/USP, Piracicaba, SP e na Fazenda Rosário GII, propriedade da Usina Açucareira Guaíra, no município de Guaíra, SP.

3.1 Experimentos de laboratório

3.1.1 Cultivo da cana-de-açúcar

Para a realização dos experimentos no laboratório, foram plantadas, em outubro de 2007, em recipientes de 500 ml, gemas de cana-de-açúcar das cultivares SP79-1011, SP80-1816 e SP81-3250, sendo estas consideradas resistente, resistente e suscetível ao ataque da cigarrinha *Mahanarva fimbriolata* (Stål), respectivamente (GARCIA, 2006). As gemas de cada cultivar foram plantadas em dois tipos de solo (argiloso e arenoso). Como fonte inicial de nutrientes para o crescimento das plantas, foi utilizada uma mistura de grânulos (fertilizante Ouro Flora®), com a formulação 4-14-8 (N-P_2O_5-K_2O) + micronutrientes ($1{,}5 g \cdot kg^{-1}$ de substrato). Para cada cultivar, em cada tipo de solo, dois outros tratamentos foram estabelecidos: com e sem silício aplicado via solo. Foi utilizada a dose de $800\ kg \cdot ha^{-1}$ de silício equivalente (fonte: K_2SiO_3 - Ineos/foliar) sendo 2,8 ml do adubo dissolvido em 50 ml de água destilada para cada vaso.

3.1.2 Criação de *M. fimbriolata*

A criação de *M. fimbriolata* foi mantida no laboratório de Biologia do Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ, tendo sido estabelecida a partir de cerca de 60 casais coletados em áreas de cana-de-açúcar da Usina Iracema, no município de Iracemápolis, SP, em janeiro de 2007. As técnicas utilizadas para a manutenção da criação foram as descritas por Garcia (2002). O laboratório foi mantido à temperatura de 25±1º C, umidade relativa de 70±10% e fotofase de 14 horas.

3.1.3 Análise do solo

Uma amostra de 300g do solo utilizado para o plantio das cultivares de cana-de-açúcar foi enviada ao Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal de Uberlândia onde foram feitas as análises de macro e micronutrientes, silício e textura (Tabela 1) para confirmação da classificação do solo como argiloso e arenoso.

Tabela 1 - Resultados da análise química nos dois tipos de solo utilizados nos testes com *M. fimbriolata*

Nutrientes	Solo Argiloso	Solo Arenoso
Ca (Cmolc·dm^{-3})	0,5	0,4
K (mg·dm^{-3})	11	18
Al (Cmolc·dm^{-3})	0,6	0,1
Fe (mg·dm^{-3})	10	46
Cu (mg·dm^{-3})	0,4	0,3
Si (mg·kg^{-1})	2,8	3,6
Matéria orgânica (dag·kg^{-1})	1	0,3

3.1.4 Avaliação do efeito do silício sobre alguns aspectos biológicos da cigarrinha em cultivares resistentes e suscetíveis mantidas em solos arenoso e argiloso

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Biologia de Insetos do Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ/USP, à temperatura de 25±1º C, umidade relativa de 70±10% e fotofase de 14 horas.

As plantas utilizadas foram cultivadas em casa de vegetação com e sem aplicação de Si em dois tipos de solo, arenoso e argiloso conforme descrito no item 3.1.1.

Os parâmetros biológicos avaliados foram: duração e viabilidade da fase de ninfa, e fecundidade, fertilidade e longevidade dos adultos.

Para esta etapa do experimento, os recipientes de 500 ml foram vedados por tampa plástica com um orifício central por onde foi avaliado diariamente o número de adultos emergidos. Este experimento teve 10 repetições com 10 ninfas da cigarrinha por repetição. Inicialmente foram avaliadas a duração e a viabilidade da fase ninfal por meio de observações diárias para quantificar o número de ninfas vivas (Figura 2), bem como a data em que as ninfas se tornaram adultos.

Figura 2 - Ninfas de cigarrinha-das-raízes se alimentando de raízes de cana-de-açúcar (esquerda) e casais adultos separados em gaiolas para acasalamento e oviposição (direita)

À medida que ocorria a emergência dos adultos, foram formados casais do inseto (10 casais por tratamento), que foram mantidos nas respectivas cultivares (Figura 1) acondicionadas conforme descrito anteriormente. Para cada casal foram determinadas a fecundidade (número de ovos/fêmea), a fertilidade (viabilidade dos ovos) e a longevidade dos adultos (machos e fêmeas).

Todos os ovos produzidos por cada fêmea por dia foram colocados em placas de acrílico (6 cm de diâmetro x 2 cm de altura) devidamente identificadas, forradas com papel filtro umedecido com água destilada (Figura 3). Diariamente, foi anotado o número de ninfas eclodidas por placa.

Figura 3 – Fêmeas ovipositando no algodão (esquerda) e ovos de cigarrinha-das-raízes em placa de acrílico forrada com papel filtro (direita)

Ao final dos experimentos, a análise do Si extraído pela parte aérea das plantas em cada tratamento foi determinada conforme metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004) no Laboratório de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia.

3.1.5 Avaliação do efeito do silício na preferência para alimentação da cigarrinha em cultivares resistentes e suscetíveis

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos do Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ/USP, à temperatura de 25±1º C, umidade relativa de 70±10% e fotofase de 14 horas.

As plantas utilizadas foram cultivadas em casa de vegetação com e sem aplicação de Si em dois tipos de solo, arenoso e argiloso conforme descrito no item 3.1.1.

As gaiolas utilizadas tinham 56 cm de altura, 52 cm de comprimento e 36 cm de largura e para o experimento as plantas foram mantidas eqüidistantes e de forma aleatória no interior das gaiolas (Figura 4). Cada gaiola continha duas plantas de uma mesma cultivar sendo uma com e outra sem silício. Cada gaiola recebeu 10 casais de adultos de *M. fimbriolata* oriundos da criação de laboratório citada no item 3.1.2.

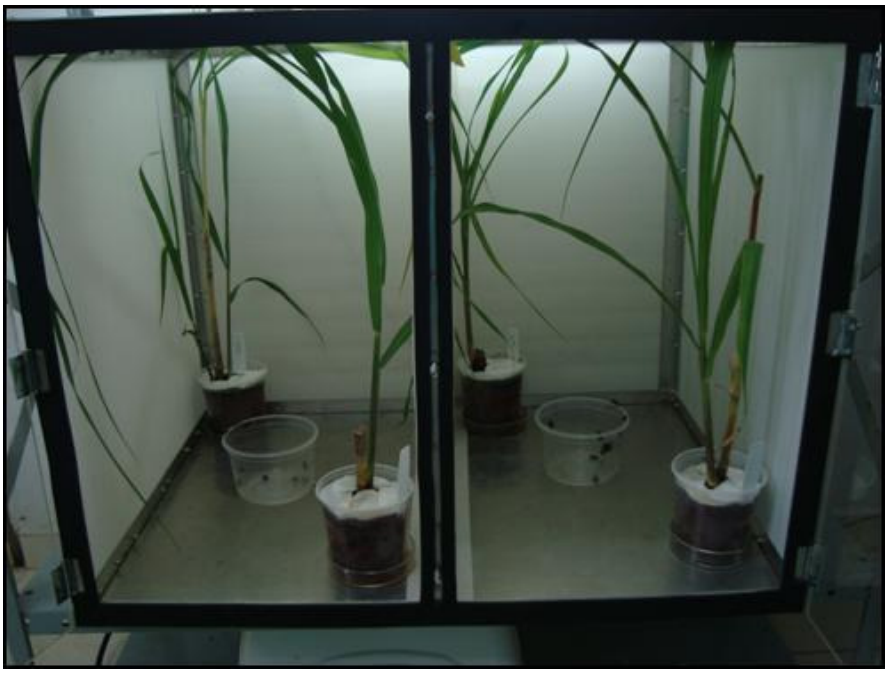


Figura 4 – Gaiolas contendo duas plantas de cana-de-açúcar, uma tratada e uma não tratada com silício e cigarrinhas sendo liberadas ao centro

Após uma hora da liberação dos adultos nas gaiolas foi contabilizada a quantidade de adultos em cada planta. Somente foram considerados aqueles adultos pousados na planta com ou na planta sem silício. Este procedimento foi repetido de hora em hora até se completarem 12 horas e após 24 horas do início do experimento foi realizada a última análise, totalizando 12 observações. Para este experimento foram realizadas 30 repetições.

3.2 Acúmulo de silício em diferentes cultivares de cana-de-açúcar em condições de campo e seu efeito na produtividade e qualidade e na indução de resistência à cigarrinha

Foi utilizado um experimento instalado em 2006, em área de cultivo comercial da Fazenda Rosário GII, propriedade da Usina Açucareira Guaíra, no município de Guaíra, SP. O plantio foi realizado em março de 2006 e a primeira colheita em julho de 2007.

Neste trabalho foram avaliados os dados referentes ao terceiro corte da cana, safra 2008/2009. Foi utilizado o esquema fatorial 2x16 com o delineamento experimental totalmente casualizado com duas repetições. Os tratamentos foram constituídos de 16 cultivares com e sem aplicação de silício. As parcelas foram constituídas por cinco linhas com doze metros de

comprimento, com espaçamento de 1,4 m entre linhas, formando uma área útil de 84 m^2. Nas parcelas tratadas com silício foi aplicado, sobre a brotação da soqueira, o equivalente a 800 $kg \cdot ha^{-1}$ de silicato de cálcio e magnésio (de escoria de aço inox), com 108,4 $g \cdot kg^{-1}$ de Si; 367,0 $g \cdot kg^{-1}$ de CaO e 94,3 $g \cdot kg^{-1}$ de MgO. A aplicação foi realizada em outubro de 2008.

As cultivares utilizadas e suas características agronômicas foram:

- **SP87-365:** alta produtividade, ótima brotação de soqueira, médio teor de sacarose, florescimento médio, exigência nutricional média/alta e maturação mediana. Resistente ao carvão, à ferrugem e à escaldadura.

- **SP80-3280:** alto teor de sacarose e alta produtividade em soqueira, perfilhamento intermediário e bom fechamento das entrelinhas, devido ao crescimento inicial vigoroso, alto teor de fibra, tombamento regular, exigência média em fertilidade do solo, boa brotação de soqueira e média sensibilidade a herbicidas. Embora floresça, apresenta pouca isoporização. Resistente ao carvão, ao mosaico e à ferrugem, tolerante à escaldadura e suscetível à broca *D. saccharalis*, não tendo mostrado sintomas da síndrome do amarelecimento.

- **SP89-1115 (CP73-1547):** alta produtividade, ótima brotação de soqueira (inclusive sob a palha), precocidade, alto teor de sacarose, hábito semi-ereto, baixo teor de fibra, florescimento freqüente, mas baixa isoporização. Recomendada para colheita até o meio da safra, respondendo positivamente à melhoria dos ambientes de produção. Resistente ao carvão, ao mosaico, à ferrugem, à escaldadura e ao amarelecimento e suscetível à broca.

- **RB925345:** alta produtividade, alto teor de sacarose, boa brotação de soca, maturação precoce e média a baixa exigência em fertilidade. Resistente à escaldadura, ao mosaico e à ferrugem e suscetível à broca.

- **SP81-3250:** alta produtividade, alto teor de sacarose, ótima brotação da soca, alto florescimento, baixa exigência nutricional e maturação mediana. Resistente à ferrugem e suscetível ao carvão e à escaldadura.

- **RB855453:** boa brotação de soca em colheita mecanizada sem queima, elevado florescimento, teor de fibra médio e teor de açúcar alto. É opção de cultivar precoce com alta produtividade agroindustrial quando não houver limitações de água no solo. Adequada para colheita mecânica devido ao hábito de crescimento ereto e ausência de tombamento. Resistente ao carvão, à escaldadura, à ferrugem e ao mosaico e com resistência intermediária ao complexo broca-podridão.

- **SP91-1049:** alto teor de sacarose e precoce (sendo recomendada para colheita no início da safra), hábito semi-ereto, médio teor de fibra; floresce pouco, mas isoporiza. Resistente às principais doenças e pragas e com suscetibilidade intermediária ao carvão e à cigarrinha.

- **RB867515:** alto teor de sacarose, crescimento rápido, alta produtividade agrícola, ótima brotação das socas, mesmo colhidas sem queima, sendo boa opção para plantio como cana-de-ano; florescimento eventual, médio teor de fibra, tombamento eventual, sendo utilizada em ambientes de médio a baixo potencial de produção, para colheita do meio de safra em diante. Resistente ao carvão, à escaldadura, ao mosaico, à ferrugem e ao complexo broca-podridão.

- **SP90-3414:** porte ereto, sem florescimento, baixa isoporização, teor de sacarose e de fibra médios, alta produção, sendo recomendada para colheita do meio para o final da safra, nos ambientes de alto potencial de produção, respondendo positivamente à melhoria deles. Suscetível à escaldadura e intermediária ao carvão e à broca.

- **RB925268:** produtividade e teor de sacarose médio; boa brotação de soca, média exigência de fertilidade e maturação tardia. Resistente à escaldadura, ao mosaico e à ferrugem e suscetível à broca.

- **RB925211:** alto teor de sacarose, com ótima brotação de soca, produtividade mediana, média/baixa exigência em fertilidade e maturação precoce. Resistente à escaldadura, ao mosaico e à ferrugem e suscetível à broca.

- **SP84-1431:** boa produtividade e rica em sacarose. Adaptada a ambientes de produção média a baixa e colheita de maio a agosto.

- **SP91-3011:** alto teor de sacarose, adaptada a ambientes de média a alta produção e época de colheita de maio a julho.

- **RB945961, RB946903** e **RB956911:** clones precoces em fase de experimentação.

A avaliação da infestação de cigarrinhas foi realizada quinzenalmente nas duas linhas intercaladas por bloco. A contagem de ninfas e de adultos foi realizada por meio da retirada da palhada nos sulcos, com o retorno desta ao final da contagem (Figura 5). As contagens de cigarrinhas foram iniciadas em outubro de 2008 e encerradas em março de 2009.

Seis meses após a instalação dos experimentos (março/2009), foram coletadas amostras de tecido foliar de cada parcela para analisar a concentração de Si. Cada amostra foi composta de 20 folhas, usando a terceira folha (+3) abaixo do TVD (*Top Visible Dewlep* ou última bainha visível). As folhas foram levadas para secagem na Universidade Federal de Uberlândia, onde foram feitas as análises de Si foliar para cada cultivar de acordo usando a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

Figura 5 – Contagem de adultos e ninfas através do afastamento da palha

A colheita da cana foi realizada em agosto de 2009, manualmente, sendo toda a parcela pesada com auxílio de uma célula-de-carga de tração Técnica D-5000 com capacidade de 1000 kg.

Por ocasião da colheita, foram coletadas, ao acaso, dez plantas seguidas na linha central de cada parcela experimental. As folhas e os colmos foram separados no ponto de quebra do cartucho foliar e pesados, para obtenção dos pesos úmidos médios por planta e por colmo. Esse material foi utilizado para análise dos parâmetros tecnológicos da cana: ATR (açúcares totais recuperáveis), AR (açúcares redutores), Brix% cana, Brix% caldo, Fibra% cana, Pol% caldo e pureza do caldo. Para tanto, foi adotada 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 a terminologia dos parâmetros supramencionados estão descritas abaixo:

• ATR: representa a quantidade de todos os açúcares da cana na forma de açúcares redutores ou invertidos, 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".

• AR: designa os açúcares (glucose e frutose, principalmente) que apresentam propriedades de reduzir o óxido de cobre do estado cúprico a cuproso.

• Brix% cana: indica a porcentagem dos sólidos solúveis aparentes contidos no caldo absoluto da cana. Pode ser expresso em porcentagem de cana através de cálculo utilizando a porcentagem de Fibra% cana.

• Brix% 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% caldo como a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em solução açucarada impura, por exemplo, o caldo extraído da cana.

• Fibra% cana: é a matéria insolúvel em água contida na cana.

• Pol% 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), com base 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.

Após a colheita da cana-de-açúcar, uma amostra de solo por parcela foi retirada para análise do teor de Si disponível. Cada amostra foi composta de quatro sub-amostras, retiradas sobre a linha de cana (soqueira), na profundidade de 0-20 cm, com a utilização de um trado holandês. As sub-amostras foram homogeneizadas no interior de um balde de 20 litros.

3.3 Análise da concentração de compostos fenólicos solúveis em duas cultivares de cana-de-açúcar, após diferentes períodos de infestação pela cigarrinha-das-raízes

Gemas de cana-de-açúcar das cultivares SP81-3250 (suscetível) e SP79-1011 (resistente) foram plantadas em recipientes de 500ml utilizando areia como substrato, incluindo-se ainda outros dois tratamentos: com e sem silício aplicado via solo. Como fonte inicial de nutrientes para o crescimento da cana, foi utilizada uma mistura de grânulos (fertilizante Ouro Flora®), com

a formulação 4-14-8 (N-P_2O_5-K_2O) + micronutrientes (1,5g·kg^{-1} de substrato). Para os tratamentos com silício, a dose utilizada foi de 800 kg·ha^{-1} de silício equivalente (fonte: K_2SiO_3 - Ineos/foliar) sendo 2,8 ml do adubo dissolvido em 50 ml de água destilada para cada vaso.

Os vasos foram mantidos em casa de vegetação por aproximadamente três meses até que as mudas atingissem o tamanho adequado para o início do experimento.

Na montagem do experimento os insetos foram mantidos isoladamente em gaiolas (Figura 6), sendo dois adultos por planta/ tratamento. Os adultos de *M. fimbriolata* utilizados foram oriundos da criação em laboratório conforme descrito no item 3.1.2. Todos os tratamentos e o grupo controle permaneceram no mesmo local, sob as mesmas condições: temperatura de 25±1º C, umidade relativa de 70±10% e fotofase de 14 horas.

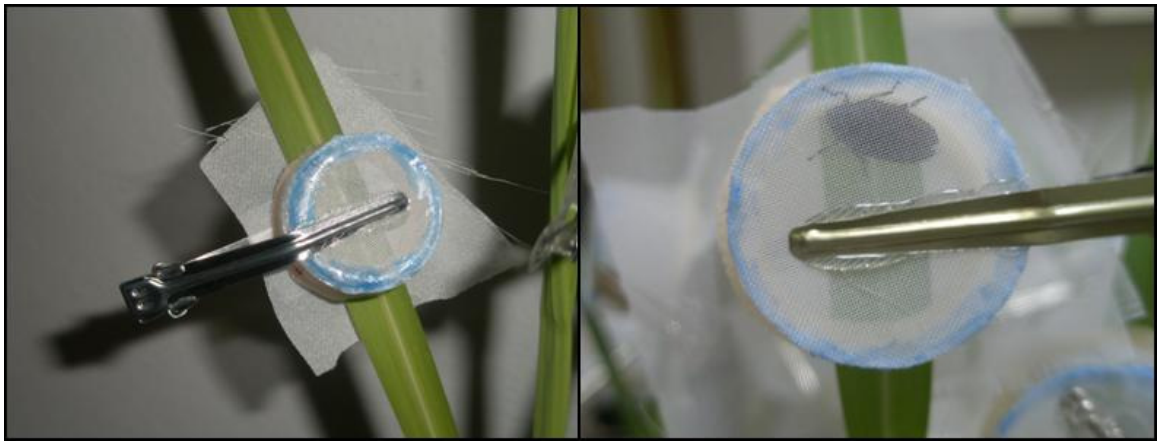


Figura 6 – Adultos de *Mahanarva fimbriolata* mantidas em gaiolas em plantas de cana-de-açúcar tratadas ou não com silício

Os testes foram desenvolvidos no delineamento experimental completamente casualizado com oito repetições.

Para a determinação de compostos fenólicos solúveis totais (CFST), a terceira e a quarta folhas do colmo principal das duas cultivares (SP81-3250 e SP79-1011) supridas ou não com silício e infestadas com adultos de *M. fimbriolata*, foram coletadas às 12, 24 e 36 após o início do experimento. As plantas não infestadas estiveram sob as mesmas condições ambientais dos outros tratamentos e a coleta destas plantas aconteceu juntamente com a coleta após 36 horas. As amostras foram congeladas em N líquido e armazenadas a -80ºC. Amostras de 0,1g foram maceradas em almofariz com pistilo, ambos de porcelana, com N líquido e homogeneizada com 1,5 ml de metanol 80%. O extrato bruto permaneceu por uma noite em mesa agitadora a 200 rpm

em temperatura ambiente. Após esse período, o extrato metanólico foi centrifugado por cinco minutos a 12.000 *g*, sendo o sobrenadante usado para determinação da concentração de CFST. O *pellet* resultante foi armazenado a -20ºC para quantificação da lignina. A determinação dos CFST foi feita com base no método desenvolvido por Zieslin e Bem-Zaken (1993), com algumas modificações. Um volume de 150 µl do reagente fenol Folin-Ciocalteau (Sigma- Aldrich, St. Louis, MO) (0,25 N) foi adicionado a 150 µl do extrato metanólico, misturado e mantido em temperatura ambiente por cinco minutos. Logo após, 150 µl de carbonato de sódio (1,0 M) foram adicionados à mistura, seguido de agitação e manutenção em temperatura ambiente por dez minutos. A essa mistura adicionou-se 1,0 ml de água destilada e, após 30 minutos, foi realizada a leitura da solução de coloração azul a 725 nm em espectrofotômetro (Spectrophotometer SP 2000UV – BEL Photonics). A concentração de CFST foi expressa em µg de CFST (expressos em termos de catecol)$\cdot kg^{-1}$ de matéria fresca. Durante todo o processo, os *eppendorfs* foram protegidos da luz utilizando-se papel alumínio para minimizar a oxidação dos compostos fenólicos.

3.4 Análise estatística

Todos os dados foram submetidos ao teste de Bartlett e de Shapiro-Wilk para verificação da homogenidade e normalidade dos dados.

Os dados de mortalidade de ninfas, duração da fase ninfal, longevidade de machos e de fêmeas, pré-oviposição, oviposição e viablidade de ovos foram submetidos à análise fatorial 3 x 2 x 2 sendo três cultivares de cana-de-açúcar, duas doses de silício e dois tipos de solo. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os dados do experimento de preferência para a alimentação da cigarrinha-das-raízes por plantas com e sem silício foram transformados para arcsin $(x/100)^{1/2}$ antes de serem submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância.

O experimento de campo teve delineamento experimental inteiramente casualizado com 16 cultivares e 2 repetições e os dados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de significância

A análise estatística dos dados de concentração de compostos fenólicos foi feita a partir da análise de variância (ANOVA) e a comparação das médias através do teste de Tukey, a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do efeito do silício sobre alguns aspectos biológicos da cigarrinha *Mahanarva fimbriolata* (Stål) em cultivares resistentes e suscetíveis mantidas em solos arenoso e argiloso

Analisando os resultados obtidos em condições de laboratório em que se avaliaram alguns aspectos biológicos da cigarrinha *M. fimbriolata* em três cultivares de cana-de-açúcar cultivadas em dois tipos de solo (arenoso e argiloso), sem aplicação de silício (-Si) e com aplicação de silício (+Si), verificou-se que, entre os parâmetros avaliados (Si foliar, mortalidade ninfal, duração da fase ninfal, longevidade de machos e fêmeas, período de pré-oviposição, fecundidade e viabilidade dos ovos), as interações entre os fatores cultivar, silício e solo foram significativas apenas para cultivar x silício para os parâmetros mortalidade ninfal, duração da fase ninfal e longevidade de machos e fêmeas.

Como esperado, as plantas tratadas com silicato de potássio via solo acumularam uma quantidade de silício em suas folhas (2,6%) significativamente maior do que as plantas não tratadas (1,05%) (Tabela 2).

Na comparação entre as cultivares, verifica-se que o silício foi absorvido em quantidades diferentes. A maior absorção desse elemento foi registrada na cultivar SP79-1011, cujo valor (2,31%) foi significativamente superior ao observado nas cultivares SP80-1816 (1,60%) e SP81-3250 (1,56%) (Tabela 2). Estes resultados reforçam que as cultivares de cana-de-açúcar variam na sua capacidade de acumular este nutriente, como mencionado por Rossetto et al. (2005).

Com relação à influência do tipo de solo neste experimento, as plantas cultivadas em solo argiloso obtiveram maior teor de Si foliar (1,96%), diferenciando do valor constatado em plantas cultivadas no solo arenoso (1,68%) (Tabela 2). Em solos do estado de São Paulo, de texturas e idades variadas, Raij e Camargo (1973) verificaram os menores valores de Si solúvel em Latossolo fase arenosa e os maiores valores em Podzólico argiloso. Isto se deve à reduzida percentagem de argila no Latossolo, aliada à menor superfície específica total em relação ao Podzólico menos intemperizado e mais argiloso. Esses mesmos autores encontraram teores de Si extraível com $CaCl_2$ 0,0025 $mol \cdot L^{-1}$, variando de 1 a 43 $mg \cdot dm^{-3}$. Valores maiores foram encontrados nos solos mais argilosos, havendo também uma relação negativa com o grau de intemperismo. Com maior concentração de Si solúvel (disponível para absorção das plantas) em

solos argilosos, as plantas cultivadas nestes podem absorver em maior quantidade este elemento do substrato.

Já a grande diferença nos teores de silício foliar constatada pode ser explicada pela alta solubilidade da fonte (silicato de potássio) e pela elevada quantidade de silício aplicada (800 $kg \cdot ha^{-1}$). Esta diferença foi de cerca de 2,5 vezes entre as plantas tratadas e não tratadas e este acúmulo demonstra a grande capacidade da cana-de-açúcar em acumular silício, como já demonstrado em outros estudos (DATNOFF et al., 2001; ROSS et al., 1974), o que pode se constituir em uma estratégia de defesa desta cultura contra insetos-praga.

Tabela 2 - Efeito da aplicação de silicato de potássio em três cultivares de cana-de-açúcar, cultivadas em dois tipos de solo, sobre o teor de silício foliar (ao final do experimento) e sobre a mortalidade e a duração da fase ninfal da cigarrinha-das-raízes (médias ± erro padrão)

Silício (Si)	**Si foliar**	**Mortalidade ninfal**	**Duração da fase ninfal**
	%	%	dias
- Si	1,05 ± 1,27 a	41,00 ± 2,13 a	48,53 ± 0,58 a
+ Si	2,60 ± 1,27 b	59,50 ± 2,13 b	49,60 ± 0,58 a
Cultivares			
SP79-1011	2,31 ± 1,55 a	66,25 ± 2,61 a	50,05 ± 0,72 a
SP80-1816	1,60 ± 1,55 b	49,50 ± 2,61 b	49,41 ± 0,72 a
SP81-3250	1,56 ± 1,55 c	35,00 ± 2,61 c	47,75 ± 0,72 a
Solo			
Arenoso	1,68 ± 1,26 a	55,16 ± 2,13 a	48,50 ± 0,58 a
Argiloso	1,96 ± 1,26 b	45,33 ± 2,13 b	49,63 ± 0,58 a
CV (%)	1	32	9

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Já a grande diferença nos teores de silício foliar constatada pode ser explicada pela alta solubilidade da fonte (silicato de potássio) e pela elevada quantidade de silício aplicada (800 $kg \cdot ha^{-1}$). Esta diferença foi de cerca de 2,5 vezes entre as plantas tratadas e não tratadas e este acúmulo demonstra a grande capacidade da cana-de-açúcar em acumular silício, como já demonstrado em outros estudos (DATNOFF et al., 2001; ROSS et al., 1974), o que pode se constituir em uma estratégia de defesa desta cultura contra insetos-praga.

De acordo com Datnoff et al. (2001), a cana-de-açúcar é altamente responsiva a aplicações de Si. Já em estudo realizado por Ross et al. (1974), foi constatada uma remoção de 408 $kg \cdot ha^{-1}$ de Si total do solo pela cultura da cana-de-açúcar, aumentando a produtividade desta cultura em 74 t por hectare.

Ayres (1966) determinou que, com 14 meses, somente 15% do total de Si na planta está alocado nos colmos da cana-de-açúcar. Já nas folhas, em cana cultivada nos melhores solos, a concentração de Si chega a cerca de 2,5%. Por outro lado, Halais (1967) sugeriu um valor crítico de 1,25% de Si, sendo que abaixo deste percentual pode se esperar uma resposta da cana-de-açúcar à aplicação de Si.

Houve interação no parâmetro mortalidade ninfal da cigarrinha-das-raízes entre os fatores silício e cultivar, podendo-se observar os resultados do desdobramento correspondente na Tabela 3. Assim, nas parcelas –Si, constata-se que a mortalidade das ninfas criadas na cultivar SP79-1011 (61%) foi significativamente superior às observadas em 'SP80-1816' (36%) e em 'SP81-3250' (26%). Já nas parcelas +Si, não houve diferença significativa nas mortalidades ninfais registradas nas cultivares SP79-1011 e SP80-1816 (71,50 e 63%, respectivamente), as quais diferiram do menor valor obtido em 'SP81-3250' (44%) (Tabela 3).

Comparando-se as parcelas -Si e +Si, por outro lado, verifica-se que o uso da adubação silicatada causou aumento significativo da mortalidade ninfal em todas as cultivares embora com diferença no incremento em cada uma delas. O maior incremento foi verificado em 'SP80-1816', atingindo 75% (variação de 36,00 para 63,00%), vindo a seguir a cultivar SP81-3250, na qual o incremento foi de 69% (de 26,00% para 44,00%). O menor aumento na mortalidade ninfal foi de 17% (61,00% para 71,50%) e ocorreu em 'SP79-1011' (Tabela 3). Este menor incremento ocorrido na cultivar resistente pode ser explicado pelo fato de esta cultivar, mesmo nas parcelas –Si, já estar apresentando um valor relativamente alto de Si foliar, o que é coerente com o fato de ela ser considerada resistente à cigarrinha-das-raízes.

Um caso interessante nesta interação ocorreu com a cultivar SP80-1816, para a qual, nas parcelas –Si, a mortalidade de ninfas não diferiu da cultivar suscetível (SP81-3250), mas que, com a aplicação de silício propiciou, aumento significativo da mortalidade a ponto de a mortalidade diferir do valor obtido na cultivar suscetível e se aproximar do valor encontrado na cultivar resistente (SP79-1011) (Tabela 3).

Tabela 3- Resultados da análise de desdobramento para a mortalidade de ninfas da cigarrinha-das-raízes em três cultivares de cana-de-açúcar cultivadas em solos sem (-Si) e com (+Si) aplicação de silício (média ± erro padrão)

Cultivares	Mortalidade ninfal (%)	
	-Si	+Si
	-------- % --------	
SP81-3250	26,00 ± 3,69 aA	44,00 ± 3,69 aB
SP80-1816	36,00 ± 3,69 aA	63,00 ± 3,69 bB
SP79-1011	61,00 ± 3,69 bA	71,50 ± 3,69 bB

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na linha e mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Analisando-se o efeito do tipo de solo, por outro lado, verifica-se que independentemente da aplicação de silício e da cultivar utilizada para a criação do inseto, as ninfas mantidas em plantas cultivadas em solo arenoso apresentaram maior mortalidade do que as mantidas em plantas cultivadas em solo argiloso (55,16 e 45,33%, respectivamente) (Tabela 2).

Byers (1965) mostrou que determinadas condições ambientais, como umidade e temperatura, afetam a diapausa de ovos e a eclosão de ninfas da cigarrinha. A umidade é um fator de extrema relevância no desenvolvimento deste inseto, principalmente para as fases imaturas, verificando-se que ambientes que proporcionem maior umidade, como no caso do solo argiloso, podem favorecer o desenvolvimento do inseto.

Constatou-se também para o parâmetro duração da fase ninfal, que houve interação entre os fatores silício e cultivar. Observando-se os resultados do desdobramento (Tabela 4), verifica-

se que em plantas –Si as cultivares não causaram diferença significativa na duração da fase ninfal da cigarrinha, ocorrendo na cultivar SP79-1011 a duração de 47,63 dias e em 'SP80-1816' e 'SP81-3250', os valores de 49,26 dias e 48,71 dias, respectivamente. Já em plantas +Si, a duração da fase ninfal na cultivar SP79-1011 (52,46 dias) diferiu significativamente da registrada em 'SP81-3250' (46,78 dias), sendo que na cultivar SP80-1816 o valor (49,54 dias) foi intermediário não diferindo dos registrados nas demais (Tabela 4).

Na comparação entre as plantas –Si e +Si, pode-se verificar na Tabela 4 que a aplicação de silício aumentou a duração da fase ninfal apenas na cultivar SP79-1011 (de 47,63 dias para 52,46 dias). Nas outras duas cultivares (SP80-1816 e SP81-3250) a aplicação de silício no solo não interferiu na duração da fase ninfal cujos valores variaram de 49,26 dias para 49,54 dias em 'SP80-1816' e de 48,71dias para 46,78 dias em 'SP81-3250', nas plantas –Si e +Si, respectivamente.

Tabela 4 - Resultados da análise de desdobramento para a duração da fase ninfal da cigarrinha-das-raízes em três cultivares de cana-de-açúcar cultivadas em solos sem (-Si) e com (+Si) aplicação de silício (média ± erro padrão)

Tratamentos/ Cultivar	Duração da fase ninfal	
	-Si	+Si
	dias	
SP79-1011	47,63 aA	52,46 bB
SP80-1816	49,26 aA	49,54 abA
SP81-3250	48,71 aA	46,78 aA
Média	48,53	49,59

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na linha e mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Não houve influência do tipo de solo na duração da fase ninfal da cigarrinha-das-raízes, constatando-se que o valor obtido no solo argiloso (49,63 dias) não diferiu significativamente do encontrado no solo arenoso (48,50 dias) e no argiloso (Tabela 2).

Os valores médios de longevidade dos machos e fêmeas referentes aos diversos tratamentos constam na Tabela 5, enquanto na Tabela 6 estão os dados resultantes do desdobramento da interação entre silício e cultivar, a qual foi significativa para o referido parâmetro tanto para os machos como para as fêmeas.

Assim, observando-se a Tabela 6, verifica-se que a longevidade das fêmeas na cultivar SP79-1011 diferiu significativamente das outras duas (SP80-1816 e SP81-3250) tanto para os tratamentos -Si como para os +Si. Nos tratamentos -Si o valor encontrado naquela cultivar foi de sendo 12,15 dias contra 17,05 dias em 'SP81-3250' e 16,30 dias em 'SP80-1816', enquanto que nos tratamentos +Si, as médias registradas nas referidas cultivares foram, respectivamente, 9,90; 15,50 e 14,05 dias.

Ao comparar as parcelas –Si e + Si, uma redução de aproximadamente dois dias na longevidade das fêmeas foi observada nas cultivares SP80-1816 (de 16,30 dias para 14,05 dias) e SP79-1011 (de 12,15 dias para 9,90 dias), sendo que esta redução foi significativa na comparação entre plantas –Si e +Si (Tabela 6). A longevidade de fêmeas, no entanto, não diferiu nas plantas –Si e +Si para a cultivar SP81-3250, cujos valores foram de 17,05 dias para –Si e 15,50 dias para +Si.

No caso da longevidade dos machos, em plantas –Si, na cultivar SP79-1011, o valor encontrado (11,95 dias) foi significativamente menor que os registrados em 'SP80-1816' e em 'SP81-3250' (14,40 e 15,30 dias, respectivamente) (Tabela 6). Já em plantas +Si, os menores valores ocorreram em 'SP79-1011' (10,90 dias) e em 'SP80-1816' (12,35 dias), os quais diferiram do obtido na cultivar SP81-3250 (14,15 dias).

Na comparação entre plantas –Si e +Si houve uma redução significativa na longevidade de machos da cigarrinha apenas para a cultivar SP80-1816, na qual os valores foram de 14,40 dias em plantas –Si e 12,35 dias em plantas +Si. Nas outras cultivares, houve tendência de redução na longevidade de machos, de 15,30 dias para 14,15 dias na 'SP81-3250' e de 11,95 dias para 10,90 dias na 'SP79-1011', contudo estes valores não diferiram significativamente entre si (Tabela 6).

O mesmo fato interessante descrito no parâmetro duração da fase ninfal para a 'SP80-1816', novamente se repetiu para a longevidade de machos, ou seja, em plantas -Si a longevidade nesta cultivar se assemelhou à verificada na cultivar suscetível (SP81-3250); ao ser adicionado o Si, a cultivar SP80-1816 provocou a redução significativa da longevidade dos machos, não só

tornando o valor diferente do obtido na cultivar suscetível como também tornando-o semelhante ao observado na cultivar resistente (SP79-1011) (Tabela 6).

Tabela 5 - Efeito da aplicação de silicato de potássio em três cultivares de cana-de-açúcar, cultivadas em dois tipos de solo, sobre o teor de silício foliar e sobre a longevidade de adultos (machos e fêmeas) da cigarrinha-das-raízes (médias ± erro padrão)

Silício (Si)	**Si foliar**	**Longevidade**	
		Macho	**Fêmea**
	%	dias	
- Si	1,05 ± 1,27 a	13,88 ± 0,34 a	15,17 ± 0,33 a
+ Si	2,60 ± 1,27 b	12,46 ± 0,34 b	13,15 ± 0,33 b
Cultivares			
SP79-1011	2,31 ± 1,55 a	11,42 ± 0,41 b	11,02 ± 0,40 a
SP80-1816	1,60 ± 1,55 b	13,37 ± 0,41 a	15,17 ± 0,40 b
SP81-3250	1,56 ± 1,55 c	14,72 ± 0,41 a	16,27± 0,40 b
Solo			
Arenoso	1,68 ± 1,26 a	13,23 ± 0,33a	14,08 ± 0,32 a
Argiloso	1,96 ± 1,26 b	13,11 ± 0,33a	14,23 ± 0,32 a
CV (%)	1	19	17

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

As menores longevidades de machos e fêmeas (10,90 e 9,90 respectivamente) constatadas na cultivar SP79-1011 permitem inferir a resistência desta cultivar à cigarrinha *M. fimbriolata*, corroborando os estudos de Garcia (2006) que mencionou que esta resistência pode estar associada a alta capacidade de absorção de Si pela planta.

Tabela 6 - Resultados da análise de desdobramento para a longevidade de machos e fêmeas da cigarrinha-das-raízes em três cultivares de cana-de-açúcar cultivadas em solos sem (-Si) e com (+Si) aplicação de silício (média ± erro padrão)

Tratamentos/ Cultivar	Longevidade de fêmeas		Longevidade de machos	
	-Si	+Si	-Si	+Si
	-------- dias --------		-------- dias --------	
SP79-1011	12,15 ± 0,57 bA	9,90 ± 0,57 bB	11,95 ± 0,58 bA	10,90 ± 0,58 bA
SP80-1816	16,30 ± 0,57 aA	14,05 ± 0,57 aB	14,40 ± 0,58 aA	12,35 ± 0,58 bB
SP81-3250	17,05 ± 0,57 aA	15,50 ± 0,57 aA	15,30 ± 0,58 aA	14,15 ± 0,58 aA

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na linha e mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Em média os adultos (machos e fêmeas) que se alimentaram de plantas com alto teor de Si viveram cerca de dois dias a menos. Uma média de dois dias a menos de vida para pragas como a cigarrinha-das-raízes pode resultar numa expressiva redução no número de ovos no ambiente, já que as fêmeas podem ovipositar em média 25 ovos/dia, como constatado neste estudo. A diminuição no número de ovos no ambiente irá diminuir a população futura de ninfas e, conseqüentemente, o dano causado por estas às plantas, além do que, os pais adultos, neste caso, estariam se alimentando por dois dias a menos.

O tipo de solo em que as plantas foram cultivadas não interferiu na longevidade de machos (13,23 dias no solo arenoso e 13,11 dias no solo argiloso) e de fêmeas (14,08 dias no solo arenoso e 14,23 dias no solo argiloso) (Tabela 5).

Nos adultos, a maior concentração de Si na folha não interferiu no período de pré-oviposição e na fecundidade e fertilidade e das fêmeas, sendo 3,87 dias; 375,98 ovos/fêmea e 88,18% os valores destes parâmetros, respectivamente, nas plantas –Si. Já nas plantas +Si, o período de pré-oviposição foi de 3,73 dias, a fecundidade de 361,50 ovos/fêmea e a viabilidade dos ovos de 76,98% (Tabela 7).

Analisando-se o período de pré-oviposição das fêmeas oriundas das diferentes cultivares, no entanto, constata-se diferença significativa entre as médias, sendo na cultivar SP81-3250 o

valor registrado (4,42 dias), maior que nas cultivares SP80-1816 e SP79-1011 que propiciaram valores de 3,67 e 3,30 dias, respectivamente (Tabela 7).

A fecundidade das fêmeas diferiu entre as três cultivares sendo que a menor fecundidade (242,42 ovos/fêmea) foi constatada na cultivar SP79-1011, seguindo-se a SP80-1816 que propiciou fecundidade de 368,67 ovos/fêmea e, por último, a cultivar SP81-3250, na qual se registrou o maior valor (495,12 ovos/fêmea) (Tabela 7). Já a viabilidade dos ovos não diferiu significativamente entre as cultivares, os quais variaram entre 84,3% em 'SP79-1011' e 98,2% em 'SP81-3250' (Tabela 7).

O tipo de solo não interferiu em nenhum desses três parâmetros, constatando-se nos solos arenoso e argiloso, os respectivos valores de 4,00 e 3,60 dias para o período de pré-oviposição; 362,23 e 375,25 ovos/fêmea e 87,58 e 89,64% para a viabilidade dos ovos (Tabela 7).

Características físicas, morfológicas e/ou químicas das plantas podem alterar o comportamento dos insetos e também interferir na sua biologia, reduzindo sua adaptação e dando proteção às plantas (LARA, 1991). Essas características podem, conseqüentemente, ser utilizadas na seleção de cultivares resistentes.

No presente estudo, independentemente da cultivar e do tipo de solo para cultivo, a maior absorção de silício pelas plantas de cana-de-açúcar afetou a mortalidade ninfal da cigarrinha-das-raízes, assim como a longevidade dos machos e fêmeas deste inseto, importantes aspectos de resistência.

A resistência de uma planta a um inseto-praga pode não estar relacionada apenas à quantidade acumulada de silício, mas também ao local e à forma como este elemento está distribuído e organizado na planta. Miller et al. (1960) demonstraram que as bainhas das folhas de certas cultivares de trigo, assim como de aveia, que são resistentes a *Phytophaga destructor* (Say), exibiram uma distribuição mais completa de depósitos de silício em sua superfície do que as cultivares suscetíveis. Estes autores propuseram que a disposição do silício em plantas suscetíveis pode permitir que as larvas de *P. destructor* se alimentem entre as fileiras de Si.

Provavelmente a formação da dupla camada de silício junto à cutícula das folhas tenha dificultado a alimentação da cigarrinha adulta, além de que o acúmulo de Si na planta pode ativar e aumentar a quantidade de compostos fenólicos e assim interferir no desenvolvimento do inseto.

Tabela 7 - Efeito da aplicação de silicato de potássio em três cultivares de cana-de-açúcar cultivadas em dois tipos de solo, sobre o teor de silício foliar (ao final do experimento) e sobre o período de pré-oviposição, a fecundidade e a viabilidade dos ovos da cigarrinha-das-raízes (médias ± erro padrão)

Silício (Si)	**Si foliar**	**Pré-oviposição**	**Fecundidade**	**Viabilidade dos ovos**
	%	dias	N^{o}. ovos/fêmea	%
Sem	1,05 ± 1,27 a	3,87± 0,14 a	375,98 ± 18,42 a	88,18 ± 5,22 a
Com	2,60 ± 1,27 b	3,73± 0,14 a	361,50 ± 18,42 a	76,98 ± 5,22 a
Cultivares				
SP79-1011	2,31 ± 1,55 a	3,30 ± 0,17 a	242,42 ± 22,56 a	84,3 ± 7,02 a
SP80-1816	1,60 ± 1,55 b	3,67 ± 0,17 a	368,67 ± 22,56 b	89,0 ± 7,02 a
SP81-3250	1,56 ± 1,55 c	4,42 ± 0,17 b	495,12 ± 22,56 c	98,2 ± 7,02 a
Solo				
Arenoso	1,68 ± 1,26 a	4,00 ± 0,13 a	362,23 ± 18,42 a	87,58 ± 4,37 a
Argiloso	1,96 ± 1,26 b	3,60 ± 0,13 a	375,25 ± 18,42 a	89,64 ±4,37 a
CV (%)	1	28	38	23

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (P≤0,05). .

Carvalho et al. (1999) avaliaram o efeito do silício como indutor de resistência de plantas de sorgo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond.) em dois genótipos, um suscetível e um resistente, com e sem aplicação de silício. Os resultados demonstraram que o silício causou redução na reprodução, na longevidade dos adultos e na preferência para alimentação do pulgão-verde em plantas com silício, induzindo resistência no genótipo suscetível.

Em cana-de-açúcar, o acúmulo de silício na planta já demonstrou ser um importante fator de resistência contra várias insetos-praga desta cultura, diminuindo os danos causados por estes artrópodes (KEEPING; MEYER, 2002), aumentando a dificuldade de penetração na planta e expondo o inseto aos inimigos naturais e a condições abióticas adversas (KVEDARAS; KEEPING 2007), ou ainda diminuindo a sobrevivência das pragas, favorecendo um decréscimo

na suscetibilidade com o aumento das doses de Si nos tratamentos entre as cultivares suscetíveis (KEEPING et al., 2004).

Em trigo, a aplicação de silicato de sódio reduziu a longevidade e a produção de ninfas do pulgão *S. graminum*, assim como a preferência do inseto pela planta (BASAGLI et al., 2003). Goussain et al. (2005) também verificaram efeito adverso do silício sobre o comportamento alimentar de *S. graminum*, onde foi constatada uma redução no tempo de prova, ou seja, a retirada mais freqüente dos estiletes das plantas, além de uma redução na excreção de *honeydew*, indicando menor taxa de ingestão ou maior retenção de seiva no corpo do inseto.

Nos estudos de Keeping e Meyer (2002), houve indícios de que cultivares suscetíveis se beneficiam mais do que as resistentes quando há aplicação de Si. Salim e Saxena (1992) observaram redução no consumo e na assimilação do alimento, no crescimento e na fecundidade de *Sogatella furcifera* Horvath alimentada em cultivares suscetíveis de arroz com alta concentração em Si. Quando analisado o efeito do silício sobre o número e os danos da broca *Eldana saccharina* Walker, em plantas com estresse hídrico, constata-se que as plantas suscetíveis com estresse hídrico e tratadas com silício tiveram um incremento na resistência contra esta praga a ponto de apresentarem mortalidade da broca e dano bastante parecidos com os índices encontrados nas plantas resistentes (KVEDARAS et al., 2007) No presente estudo, o aumento da resistência à cigarrinha-das-raízes nas três cultivares devido ao tratamento com silício sugere que podem ocorrer diferenças entre cultivares na assimilação do silício. Assim, a aplicação de silício em áreas, especialmente com cultivares suscetíveis, poderá reduzir as chances de a população da cigarrinha-das-raízes atingir o nível de dano econômico.

Neste estudo foi observado que a cultivar em que o inseto se alimentou interferiu não só na mortalidade ninfal, como também na longevidade de machos e fêmeas, no período de pré-oviposição e na fecundidade.

Estes dados são corroborados pelo trabalho de Garcia (2006) que, avaliando o desenvolvimento de *M. fimbriolata* em diversas cultivares, entre as quais SP81-3250, SP80-1816 e SP79-1011, constatou que, entre elas, a SP79-1011 foi a que provocou a menor viabilidade de ninfas, a menor fecundidade e a menor viabilidade dos ovos (64%, 254,5 ovos/fêmea e 83% respectivamente). A cultivar SP81-3250 mostrou-se suscetível ao ataque da cigarrinha-das-raízes propiciando maior longevidade de adultos (38,3 dias para machos e 51,1 dias para fêmeas), maior período de oviposição (46,0 dias), maior fecundidade (1.215,0 ovos/fêmea) e maior viabilidade

dos ovos (97,3%) (GARCIA, 2006). Neste mesmo estudo a cultivar SP80-1816 apresentou características intermediárias às outras duas mencionadas, propiciando período de ninfa de 35 dias, viabilidade ninfal de 76% e fecundidade de 333,2 ovos/fêmea.

Segundo Gallo et al. (2002), as ninfas provocam a deterioração dos vasos lenhosos das raízes, dificultam ou mesmo impedem o fluxo de água e de nutrientes, causando, conseqüentemente, morte das raízes e alteração da fisiologia da planta, o que pode ser caracterizado pelo surgimento de colmos ocos e afinados. Assim sendo, uma maior mortalidade de ninfas pode ocasionar diminuição destes danos, reduzindo assim as perdas na produtividade.

A qualidade nutricional da planta hospedeira, assim como as condições para a alimentação, têm efeito sobre a fecundidade. Um estudo com afídeos revelou que em plantas com baixa qualidade ocorreu a reabsorção dos embriões pela fêmea, que utiliza esse mecanismo para a sua sobrevivência (AWMACK; LEATHER, 2002). Essa tendência foi confirmada por Leather (1983) ao constatarem que os afídeos que se alimentavam em plantas com baixa qualidade nutricional, como compensação, reabsorviam os embriões mais novos, enquanto os embriões mais velhos continuavam a amadurecer. Além disso, os afídeos mal nutridos apresentavam forte tendência a morrer antes que depositassem toda sua prole (LEATHER, 1985). Estes efeitos foram confirmados por estudos mais recentes como os de Camargo et al. (2008), onde apenas 33% das fêmeas de *Cinara atlantica* (Wilson) colocaram ninfas, no tratamento com maior dose de silício, contrastando com 46% das fêmeas no tratamento com menor dose deste mineral. Contudo, na testemunha (sem silício), todas as fêmeas colocaram ninfas normalmente, sem apresentar nenhum tipo de alteração visível e nem mesmo dificuldade para realizar a deposição da prole.

As cultivares que proporcionam ao inseto maior longevidade, como no caso da cultivar SP81-3250, podem levar a uma permanência do inseto se alimentando durante mais tempo, levando, conseqüentemente, a um aumento no número de ovos depositados, além de ocasionar maiores danos.

Assim, com base nos resultados obtidos na avaliação dos aspectos biológicos da cigarrinha *M. fimbriolata* em três cultivares de cana-de-açúcar cultivadas em dois tipos de solo com e sem aplicação de silício, verificou-se que diferentes cultivares, assim como a presença do silício e o tipo de solo influenciam no desenvolvimento da cigarrinha, sendo, entretanto, necessários outros estudos aprofundando o entendimento desta interação. Ainda assim, entende-

se que os resultados deste estudo podem colaborar com práticas de manejo integrado de pragas da cana-de-açúcar.

4.2 Avaliação do efeito do silício na preferência para alimentação da cigarrinha em cultivares resistentes e suscetíveis

No teste de preferência para alimentação, os adultos da cigarrinha-das-raízes preferiram se alimentar em plantas não tratadas com silício (-Si) com uma média de 1,73 adultos/planta, valor significativamente menor do que nas plantas tratadas com silício (+Si) com 2,00 adultos/planta (Tabela 8).

Tabela 8 - Preferência alimentar da cigarrinha-das-raízes por plantas não tratadas (-Si) e tratadas (+Si) com silício (média ± erro padrão)

Tratamentos	Número de adultos
	adultos/planta
- Si	2,00 ± 0,03 a
+ Si	1,73 ± 0,03 b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Analisando a preferência para a alimentação nos diversos períodos, foi observado também que nas primeiras oito observações do experimento (oito primeiras horas), após o início do experimento, não foi constatada diferença significativa entre o número de adultos nas plantas +Si e -Si (Tabela 9). Após 9, 10, 11 e 24 horas, a contar do início do experimento, o número de adultos entre os tratamentos foi significativamente diferente, com menor número de insetos nas plantas +Si, o que sugere que, após algumas horas, os insetos passaram a perceber que as plantas eram menos adequadas para a alimentação.

Goussain et al. (2005), ao investigarem o comportamento alimentar do pulgão-verde *S. graminum* utilizando a técnica de excreção de *honeydew*, em plantas de trigo tratadas com silício,

constataram que esse elemento diminuiu o número de gotas de *honeydew* produzidas pelo pulgão, indicando uma redução na ingestão de seiva. O silício também reduziu o tempo para a última gota de *honeydew*, indicando que o pulgão-verde, ao se alimentar nas plantas tratadas com silício, encontrou fatores no floema que o induziram a parar a ingestão antes daqueles insetos que se alimentaram de plantas testemunhas, sem silício (COSTA et al., 2009).

Tabela 9 - Número de adultos da cigarrinha-das-raízes em plantas de cana-de-açúcar não tratadas (-Si) e tratadas com silício (+Si), após doze avaliações

Coleta de dados/ Observações	Número de adultos/planta		
	-Si	+Si	Média
	---------- nº de adultos/planta ----------		
1h	1,38 a	1,41 a	1,39
2h	1,64 a	1,76 a	1,70
3h	1,64 a	1,76 a	1,70
4h	1,71 a	1,91 a	1,81
5h	1,84 a	2,00 a	1,92
6h	1,84 a	2,01 a	1,92
7h	1,82 a	2,09 b	1,96
8h	1,84 a	2,07 a	1,95
9h	1,78 a	2,11 b	1,95
10h	1,78 a	2,30 b	2,04
11h	1,68 a	2,36 b	2,02
24h	1,59 a	2,41 b	2,00

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Assim, a presença do Si na planta pode estar provocando uma resposta negativa no inseto durante a seleção hospedeira para alimentação**.** Como comentado anteriormente, o silício pode fornecer proteção às plantas tratadas, através da barreira mecânica passiva da planta contra o estresse ambiental (KORNDÖRFER et al., 2001) e/ou à proteção ativa induzida por este elemento dentro das células vegetais, desencadeando reações que iniciam mecanismos de defesas bioquímicas em plantas tratadas (GOMES et al., 2005) e podendo, assim, influenciar na escolha do inseto pelo melhor local onde se alimentar.

Existem diversos relatos de que o silício contribui para aumentar a resistência das plantas aos estresses bióticos ou abióticos (EPSTEIN, 1994; MA, 2004; 2006; RICHMOUND; SUSSMAN, 2003; RODRIGUES et al., 2005; SEEBOLD et al., 2001) mas, um estudo recente de Nakata et al. (2008), com a utilização do mutante *lsi1* (deficiente no capacidade de absorção de Si), demonstrou claramente que a acumulação de silício está, de fato, envolvida na resistência do arroz a pragas e doenças. O estudo mencionado sugere que o mutante não pode adquirir resistência a esses organismos, mesmo sob condições de campo em que o Si está presente em concentrações elevadas, pois as plantas mutantes não conseguem absorver este elemento.

4.3 Acúmulo de silício em diferentes cultivares de cana-de-açúcar e seu efeito na produtividade e qualidade da cana e na indução de resistência à cigarrinha

Analisando os resultados de campo, no experimento realizado na Usina Açucareira Guaíra, onde as 16 cultivares foram instaladas em parcelas com e sem aplicação de silício, constata-se que, entre os 12 parâmetros avaliados [(Si solo, Si foliar, número de ninfas, número de adultos, produtividade da cana, Pol% caldo, Brix% caldo, pureza do caldo, teor de Fibra% cana, Brix% cana, açúcares redutores (AR), açúcares totais recuperáveis (ATR)], as interações entre os tratamentos cultivares e silício foram significativas apenas para número de adultos.

Comparando-se as parcelas que receberam a aplicação de silicato de cálcio e magnésio com aquelas que não receberam a adubação silicatada, verifica-se, como esperado, que as primeiras apresentaram uma concentração significativamente maior de silício no solo (12,49 $mg \cdot kg^{-1}$) do que as parcelas que não receberam esta adubação (7,24 $mg \cdot kg^{-1}$) (Tabela 10).

A cultura da cana-de-açúcar possui enorme potencial de remoção de Si do solo. Uma produção de 100 t ha^{-1} de cana pode remover até 300 $kg \cdot ha^{-1}$ de Si (KORNDORFER et al., 2002). Nestas condições, o ácido monossilícico presente nos solos é rapidamente absorvido pela cana-de-açúcar e o teor de Si no solo pode diminuir rapidamente devido à grande exportação do elemento. Segundo Korndorfer et al. (2004), a probabilidade de resposta à adubação com Si é maior quando o teor desse elemento no solo é inferior a 7,0 $mg \cdot kg^{-1}$ (extração com cloreto de cálcio).

Por outro lado, ao analisar a concentração de Si no solo das parcelas onde foram cultivadas as 16 cultivares estudadas, constata-se que, apesar de os teores terem variado entre 10,80 e 8,52 $mg \cdot kg^{-1}$, não houve diferença significativa entre as médias (Tabela 10).

Com maior disponibilidade de Si no solo para absorção pelas plantas ocorreu uma porcentagem significativamente maior deste elemento nas folhas. Assim, as plantas com Si apresentaram uma porcentagem de Si foliar de 0,98%, valor significativamente maior do que o registrado nas plantas sem Si (0,87%) (Tabela 10).

O Si aparece em altas concentrações nas folhas da cana-de-açúcar, podendo variar de 0,14% em folhas jovens até 6,7% em folhas velhas (KORNDORFER et al., 2002). Anderson et al. (1991) sugeriram que o nível crítico de silício na matéria seca da folha de cana-de-açúcar seja de 1,0%. No Havaí, as folhas contendo menos de 0,5% de Si freqüentemente apresentam um sintoma denominado *freckling*. A causa deste sintoma é ainda bastante controvertida, porém a maioria dos pesquisadores o atribui à falta de Si e a desequilíbrios nutricionais.

As médias referentes ao Si foliar diferiram significativamente entre as cultivares evidenciando que estas diferem na sua capacidade de absorção desse elemento do solo. A maior concentração de Si foi constatada na cultivar SP89-1115 (1,27%), valor que diferiu significativamente dos registrados nas demais cultivares com exceção daqueles verificados nas cultivares RB92-5345 (1,17%) e SP91-1049 (1,05%). Em contraposição, RB86-7515 foi a cultivar com menor concentração de Si, sendo que o valor nela registrado (0,69%) foi inferior ao constatado em seis outras cultivares para as quais a variação no teor de Si foliar variou entre 0,98 e 1,27% (Tabela 10).

É importante ressaltar que os resultados obtidos para a cultivar RB86-7515 não concordam com as características de rustiticidade dessa cultivar, já que, segundo Deren et al. (1993) e Landell et al. (2005), cultivares como a RB86-7515, com alta rusticidade e boa produção em todos os tipos de solos, deveria apresentar um maior teor de Si nas folhas, o que não ocorreu neste experimento.

Trabalhando com diferentes cultivares de cana-de-açúcar, Rossetto et al. (2005) também encontraram diferenças no teor de Si entre as mesmas, concluindo que estas podem apresentar diferentes concentrações deste elemento, embora tenham recebido a mesma adubação via solo. O mesmo ocorreu na África do Sul em estudos realizados com o objetivo de avaliar o efeito do Si sobre a broca-da-cana *E. saccharina* (KVENDARAS; KEEPING, 2007). Existem outras

evidências deste diferente acúmulo entre cultivares como em Kvedaras et al. (2007) e Keeping et al. (2009), sendo ambos trabalhos realizados com cultivares produzidas na África do Sul.

Embora muitos solos sejam considerados não responsivos à adubação silicatada, a disponibilização desse elemento também está associada, além da espécie vegetal, à variedade da planta, pois algumas podem apresentar maior absorção e resposta à adubação (CAMARGO et al., 2008).

Segundo Deren et al. (1993), as cultivares de arroz podem apresentar grande variabilidade genética quanto aos teores de silício nos seus tecidos e ao seu acúmulo, ocorrendo estreita relação entre os teores de Si absorvidos na folha e os teores no solo. Isso poderia ser considerado na escolha das cultivares e poderia estar relacionado à sua diferente capacidade de resistência à cigarrinha-das-raízes. Alguns trabalhos já foram feitos em outros países sobre o assunto, mas pouco se sabe sobre as cultivares de cana no Brasil.

O número de ninfas encontrado nas parcelas com aplicação de silício foi de 3,45 ninfas/metro, valor significativamente menor do que nas plantas sem aplicação desse elemento, nas quais a infestação foi de 4,96 ninfas/metro (Tabela 10). Entre as cultivares testadas, no entanto, não foi verificada diferença significativa no número de ninfas, com variação entre 1,72 e 5,85 ninfas/metro nas cultivares RB85-5453 e SP91-1049, respectivamente (Tabela 10).

Conforme mencionado anteriormente, o parâmetro número de adultos foi um dos dois únicos em que a interação cultivares e aplicação de silício foi significativa. Assim, analisando-se a Tabela 11, na qual consta o desdobramento dos dados referentes a esse parâmetro, constata-se que, diferentemente das demais cultivares, apenas em ‘SP80-3250’ ocorreu diferença no número de adultos/metro entre parcelas sem e com aplicação de silício, verificando-se, nas parcelas não tratadas um valor significativamente menor do que nas tratadas, com valores de 0,10 e 0,90 respectivamente. Ressalte-se, contudo, conforme consta na Tabela 10 que, quando se considera a média entre as 16 cultivares, não houve diferença no número de adultos entre os tratamentos com e sem aplicação de silício (0,37 e 0,39 adulto/metro, respectivamente). Na comparação entre as cultivares, constata-se, por outro lado, que, independentemente da aplicação ou não do silício, não houve efeito das cultivares na população de adultos do inseto, que variou entre 0,10 a 0,85 adultos/metro quando as cultivares foram mantidas em solo sem adubação silicatada e entre 0,15 e 0,90 nas parcelas adubadas.

Tabela 10 - Teor de silício no solo e foliar e número médio de ninfas e de adultos da cigarrinha-das-raízes em 16 cultivares de cana-de-açúcar em áreas sem e com aplicação de silício (média ± erro padrão)

Silício (Si)	**Si solo**	**Si foliar**	**Número de ninfas**	**Número de adultos**
	$mg \cdot kg^{-1}$	%	ninfas/m	adultos/m
Sem	7,24 ± 2,54 a	0,87 ± 0,007 a	4,96 ± 5,06 a	0,37 ± 0,03 a
Com	12,49 ± 2,54 b	0,98 ± 0,007 b	3,45 ± 5,06 b	0,39 ± 0,03 a
Cultivares				
RB85-5453	10,27 ± 2,53 a	0,81 ± 0,007 def	1,72 ± 5,06 a	0,32 ± 0,03 a
RB86- 7515	10,00 ± 2,53 a	0,69 ± 0,007 f	5,02 ± 5,06 a	0,02 ± 0,03 a
RB92-5211	9,82 ± 2,53 a	0,90 ± 0,007 cdef	4,45 ± 5,06 a	0,20 ± 0,03 a
RB92-5268	10,22 ± 2,53 a	0,81 ± 0,007 def	4,95 ± 5,06 a	0,35 ± 0,03 a
RB92-5345	10,30 ± 2,53 a	1,17 ± 0,007 ab	4,05 ± 5,06 a	0,25 ± 0,03 a
RB94-5961	10,80 ± 2,53 a	1,00 ± 0,007 bcd	4,10 ± 5,06 a	0,27 ± 0,03 a
RB94-6903	10,07 ± 2,53 a	0,87 ± 0,007 cdef	3,05 ± 5,06 a	0,42 ± 0,03 a
RB95-6911	8,52 ± 2,53 a	0,77 ± 0,007 ef	2,07 ± 5,06 a	0,30 ± 0,03 a
SP80-3280	8,77 ± 2,53 a	0,99 ± 0,007 bcde	3,67 ± 5,06 a	0,37 ± 0,03 a
SP81-3250	9,67 ± 2,53 a	0,98 ± 0,007 bcde	4,20 ± 5,06 a	0,50 ± 0,03 a
SP84-1431	9,55 ± 2,53 a	0,78 ± 0,007 def	3,60 ± 5,06 a	0,35 ± 0,03 a
SP87-365	10,07 ± 2,53 a	1,09 ± 0,007 def	5,37 ± 5,06 a	0,55 ± 0,03 a
SP89-1115	10,10 ± 2,53 a	1,27 ± 0,007 a	5,77 ± 5,06 a	0,47 ± 0,03 a
SP90-3414	10,45 ± 2,53 a	0,79 ± 0,007 def	4,67 ± 5,06 a	0,62 ± 0,03 a
SP91-1049	8,60 ± 2,53 a	1,05 ± 0,007 abc	5,85 ± 5,06 a	0,45 ± 0,03 a
SP91-3011	10,60 ± 2,53 a	0,80 ± 0,007 def	4,70 ± 5,06 a	0,45 ± 0,03 a
CV (%)	16	9	53	49

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 11 - Número de adultos da cigarrinha-das-raízes em 16 cultivares de cana-de-açúcar em áreas sem e com aplicação de silício

Cultivar	Número de adultos/metro	
	Sem Si	Com Si
RB86-5453	0,30 ± 0,03 aA	0,35 ± 0,03 aA
RB86-7515	0,20 ± 0,03 aA	0,20 ± 0,03 aA
RB92-5211	0,10 ± 0,03 aA	0,30 ± 0,03 aA
RB92-5268	0,40 ± 0,03 aA	0,30 ± 0,03 aA
RB92-5345	0,25 ± 0,03 aA	0,25 ± 0,03 aA
RB94-5961	0,40 ± 0,03 aA	0,15 ± 0,03 aA
RB94-6903	0,60 ± 0,03 aA	0,25 ± 0,03 aA
RB95-6911	0,30 ± 0,03 aA	0,30 ± 0,03 aA
SP80-3280	0,55 ± 0,03 aA	0,20 ± 0,03 aA
SP81-3250	0,10 ± 0,03 aA	0,90 ± 0,03 aB
SP84-1431	0,25 ± 0,03 aA	0,45 ± 0,03 aA
SP87-364	0,85 ± 0,03 aA	0,25 ± 0,03 aA
SP89-1115	0,10 ± 0,03 aA	0,85 ± 0,03 aA
SP90-3414	0,45 ± 0,03 aA	0,80 ± 0,03 aA
SP91-1049	0,70 ± 0,03 aA	0,20 ± 0,03 aA
SP91-3011	0,40 ± 0,03 aA	0,50 ± 0,03 aA
Média	0,37	0,39

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

A baixa população desta praga no campo pode ter influenciado os resultados deste experimento. Ressalte-se que esta baixa incidência tem sido freqüente na Usina Açucareira Guaíra, apesar de se colher 100% de cana crua, o que pode ser explicado, ao menos em parte, pelo uso sistemático e intensivo de silicato na lavoura.

Dinardo-Miranda et al. (2008), com base em dados experimentais e em dados obtidos em áreas comerciais, mostram que, embora haja diferenças entre as cultivares, a maioria das

cultivadas comercialmente é atacada pela praga e sofre significativas reduções na produtividade e na qualidade tecnológica. Considerando, por outro lado, que existem resultados de pesquisa (DINARDO-MIRANDA et al., 1999; 2001; BALBO JR.; MOSSI, 1999) que evidenciam o efeito de cultivares na redução de danos causados por cigarrinhas-das-raízes, seria interessante realizar mais estudos para avaliar o efeito das cultivares na população dessa praga em cana-de-açúcar.

Nesse estudo, o silício contribuiu para uma redução significativa da população de ninfas no campo. Como mencionado anteriormente, vários estudos evidenciam o efeito desse elemento na redução de danos e da população de pragas de importância para a cana-de-açúcar. Keeping e Meyer (2005) relataram que, de quatro doses de Si em cana-de-açúcar, três mostraram resultados positivos na redução do dano e da população da broca-do-colmo.

Segundo Marcondes et al. (2003), o nível de dano econômico (NDE) é de 20 ninfas/metro linear de sulco e de 1 adulto/cana, enquanto o nível de controle é de 2 a 4 ninfas/metro e de 0,5 a 0,75 adultos/cana. Vários estudos mostram que, com uma maior população de cigarrinhas, há uma relação negativa significativa da infestação desta praga com a produtividade, com a Pol% cana e com a pureza (MADALENO et al., 2008), o que, conseqüentemente, afeta a produção de açúcar.

A adubação silicatada não interferiu na produtividade, mas a menor quantidade de ninfas em plantas com Si resultou no acréscimo de valores de parâmetros igualmente importantes para a qualidade da matéria-prima como Brix% caldo e Pol% caldo (Tabela 12).

Mesmo tendo ocorrido menor população de ninfas de *M. fimbriolata* nas parcelas tratadas com silício não houve diferença significativa nas produtividades nos dois tratamentos que foram de 134,6 $t \cdot ha^{-1}$ nas parcelas sem aplicação de silício e de 133,08 $t \cdot ha^{-1}$ nas com aplicação desse elemento (Tabela 12). A interferência do Si sobre a qualidade da matéria-prima pode ser considerada indireta, na medida em que o Si também afetou a incidência da cigarrinha, a qual reconhecidamente possui influência na qualidade da matéria prima.

Observou-se, por outro lado, variação na produtividade em função das cultivares, constatando-se os maiores valores nas cultivares SP84-1431 e SP80-3280 com 146,74 e 146,31 $t \cdot ha^{-1}$, respectivamente, as quais foram significativamente maiores do que as registradas nas cultivares RB92-5268 e SP91-3011 que apresentaram as menores produtividades entre todas as cultivares com 105,68 e 109,76 $ton \cdot ha^{-1}$, respectivamente (Tabela 12).

No que se refere ao Pol% caldo, verifica-se que as parcelas que receberam silício apresentaram valores significativamente maiores (19,21%) em comparação às parcelas que não receberam Si (18,70%) (Tabela 12).

Na comparação entre as cultivares, verifica-se que a cultivar que mais se destacou foi a RB95-6911 com 20,20%, diferindo de outras seis cultivares, cujos valores variaram entre 17,47 e 18,61%. Já o menor valor foi encontrado em 'RB92-5268' com 17,47%, diferindo dos dados obtidos em sete outras cultivares que tiveram valores variáveis entre 19,27 e 20,20%.

O Pol caldo representa a porcentagem de sacarose contida numa solução de açúcares, enquanto que o Pol % cana é a porcentagem de sacarose existente na cana (caldo + fibra) (FERNANDES, 2000). No estado de São Paulo, segundo este autor, uma cana para ser considerada madura deve apresentar Pol % cana variando de 14,4% (início da safra) a 15,3% (transcorrer da safra).

Observou-se aumento significativo da Pol% caldo com o uso de adubação silicatada e conseqüente redução do nível de infestação da cigarrinha nas plantas sem Si (Tabela 12). Esse resultado vem ao encontro do obtido por Gonçalves et al. (2003) que verificaram redução da Pol quando os danos provocados pela cigarrinha-das-raízes eram elevados. Ravaneli (2005), estudando o efeito da cigarrinha-das-raízes sobre a qualidade da matéria-prima, também observou redução da Pol à medida que se elevou o nível de infestação inicial de ninfas.

Ainda conforme a Tabela 12, as cultivares com maior Brix% caldo foram a RB95-6911 com 22,72% e a RB85-5453 com 21,72%, as quais diferiram de um grupo representado por seis cultivares (RB92-5268, SP89-1115, SP90-3414, RB94-6903, SP87-365 e SP81-3250) nas quais o Brix variou de 20,75 a 21,22%.

Para o fator silício, foi verificado que, independentemente das cultivares, as plantas das parcelas com aplicação de silício apresentaram em média maior Brix% caldo (21,78%) do que aquelas sem aplicação deste elemento (21,27%).

Já na comparação entre as cultivares, verifica-se que o maior valor para Brix% cana foi observado na cultivar RB95-6911 (22,72%) e para a cultivar RB92-5268 foi observado o menor valor com 20,75% (Tabela 12), sendo ambas diferentes significativamente entre si.

Tabela 12 - População de ninfas da cigarrinha-das-raízes, produtividade da cana, Pol% caldo, Brix% caldo em 16 cultivares de cana-de-açúcar em áreas sem e com aplicação de silício (média ± erro padrão)

Silício (Si)	**Número de ninfas**	**Produtividade da cana**	**Pol% caldo**	**Brix% caldo**
	ninfas/m	--- $t \cdot ha^{-1}$---	%	%
- Si	4,96 ± 5,06 a	134,60 ± 71,53 a	18,70 ± 0,35 b	21,27 ± 0,31 a
+ Si	3,45 ± 5,06 b	133,08 ± 71,53 a	19,21 ± 0,35 a	21,78 ± 0,31 b
Cultivares				
RB85-5453	1,72 ± 5,06 a	144,09 ± 71,53 a	19,27 ± 0,35 ab	21,72 ± 0,31 a
RB86-7515	5,02 ± 5,06 a	130,88 ± 71,53 ab	18,37 ± 0,35 bc	21,42 ± 0,31 ab
RB92-5211	4,45 ± 5,06 a	131,22 ± 71,53 ab	19,57 ± 0,35 ab	21,07 ± 0,31 ab
RB92- 5268	4,95 ± 5,06 a	105,68 ± 71,53 c	17,47 ± 0,35 c	20,75 ± 0,31 b
RB92-5345	4,05 ± 5,06 a	141,10 ± 71,53 a	19,53 ± 0,35 ab	21,92 ± 0,31 ab
RB94-5961	4,10 ± 5,06 a	134,38 ± 71,53 a	19,27 ± 0,35 ab	21,65 ± 0,31 ab
RB94-6903	3,05 ± 5,06 a	137,82 ± 71,53 a	18,53 ± 0,35 bc	21,07 ± 0,31 b
RB95-6911	2,07 ± 5,06 a	134,33 ± 71,53 a	20,20 ± 0,35 a	22,72 ± 0,31 a
SP80-3280	3,67 ± 5,06 a	146,31 ± 71,53 a	18,80 ± 0,35 abc	21,52 ± 0,31 ab
SP81-3250	4,20 ± 5,06 a	139,08 ± 71,53 a	18,86 ± 0,35 abc	22,11 ± 0,31 b
SP84-1431	3,60 ± 5,06 a	146,74 ± 71,53 a	19,03 ± 0,35 abc	21,72 ± 0,31 ab
SP87-365	5,37 ± 5,06 a	139,92 ± 71,53 a	18,52 ± 0,35 bc	21,20 ± 0,31 b
SP89-1115	5,77 ± 5,06 a	138,52 ± 71,53 a	18,38 ± 0,35 bc	20,82 ± 0,31 b
SP90-3414	4,67 ± 5,06 a	131,42 ± 71,53 ab	18,61 ± 0,35 bc	20,87 ± 0,31 b
SP91-1049	5,85 ± 5,06 a	130,21 ± 71,53 ab	19,57 ± 0,35 ab	22,02 ± 0,31 ab
SP91-3011	4,70 ± 5,06 a	109,76 ± 71,53 bc	19,31 ± 0,35 ab	21,67 ± 0,31 ab
CV (%)	53	8	3	2

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

A aplicação ou não do silício não interferiu na pureza do caldo, sendo que plantas -Si apresentaram valor de 87,90%, enquanto nas plantas com Si o valor foi de 88,16% (Tabela 13). Já entre as cultivares, a pureza do caldo variou significativamente, registrando-se os maiores valores para pureza do caldo nas cultivares SP90-3414 e SP91-3011 com 89,16 e 89,07% respectivamente, os quais diferiram dos resultados constatados na cultivar RB92-5268 que

apresentou o menor valor (84,19%) e da cultivar RB86-7515 que apresentou valor intermediário (85,73%) (Tabela 13).

No que se refere ao teor de Fibra% cana, observa-se que, os tratamentos que receberam silício apresentaram um valor superior (11,56%) ao tratamento sem silício (10,83%) (Tabela 13). Leite et al. (2008), fazendo o uso de silicato de cálcio no sulco de plantio, constataram que, independentemente das fontes e das doses utilizadas, o referido produto causou aumento no teor de Fibra% cana, mas não influenciou o rendimento de colmos e de açúcar total recuperável, assim como os teores de Brix, de Pol e de pureza do caldo.

Na análise de teor de Fibra% cana entre as cultivares, foi registrada diferença significativa apenas entre os valores extremos (11,88% e 10,14%) encontrados nas cultivares RB86-7515 e SP89-1115, respectivamente; as médias observadas nas demais cultivares não diferiram entre si e tampouco das que proporcionaram os valores extremos. Stupiello (2002) comentou que o teor de Fibra% cana varia em função da variedade, dos tipos de solo, do período de safra, da idade do canavial, das condições climáticas e das práticas culturais. Os teores de Fibra% cana das cultivares na Região Centro Sul geralmente são mais baixos do que os encontrados em outras regiões.

Nascimento et al. (2002), avaliando o comportamento agroindustrial de 14 cultivares de cana-de-açúcar em três épocas de colheita concluíram que a cultivar RB86-7515 se destacou positivamente em todas as épocas estudadas. Silveira et al. (2002) avaliaram as taxas de crescimento, alocação de matéria seca e produção de sacarose de seis cultivares de cana-de-açúcar para as condições edafoclimáticas de Viçosa-MG e constataram que a cultivar RB86-7515 também se destacou tanto pela produção de colmos, quanto pela produção de sacarose.

Segundo Dinardo-Miranda et al. (2006), por outro lado, as reduções populacionais de cigarrinha, em decorrência do uso de inseticidas, não afetaram os teores de açúcar (Pol% cana) e de Fibra%cana, mas possibilitaram incremento na produtividade de colmos em relação ao controle, atingindo valores de até 15,3 $t \cdot ha^{-1}$. Nos estudos feitos por Ravaneli et al. (2006), o ataque da cigarrinha-das-raízes influenciou negativamente a qualidade da cana-de-açúcar e o teor alcoólico dos vinhos.

Tabela 13 - População de ninfas da cigarrinha-das-raízes, pureza do caldo, Fibra% cana e Brix% cana em 16 cultivares de cana-de-açúcar em áreas sem e com aplicação de silício (média ± erro padrão)

Silício (Si)	**Número de ninfas**	**Pureza do caldo**	**Fibra% cana**	**Brix% cana**
	ninfas/m	%	%	%
Sem	4,96 ± 5,06 a	87,90 ± 1,52 a	10,83 ± 0,38 a	18,38 ± 0,23 a
Com	3,45 ± 5,06 b	88,16 ± 1,52 a	11,56 ± 0,38 b	18,58 ± 0,23 a
Cultivares				
RB85-5453	1,72 ± 5,06 a	88,66 ± 1,52 ab	11,25 ± 0,38 ab	18,64 ± 0,23 ab
RB86-7515	5,02 ± 5,06 a	85,73± 1,52 bc	11,88 ± 0,38 a	18,18 ± 0,23 b
RB92-5211	4,45 ± 5,06 a	88,62 ± 1,52 ab	11,56 ± 0,38 ab	18,84 ± 0,23 ab
RB92-5268	4,95 ± 5,06 a	84,19 ± 1,52 c	11,38 ± 0,38 ab	17,76 ± 0,23 b
RB92-5345	4,05 ± 5,06 a	89,06± 1,52 a	11,64 ± 0,38 ab	18,68 ± 0,23 ab
RB94-5961	4,10 ± 5,06 a	88,99 ± 1,52 a	10,87 ± 0,38 ab	18,69 ± 0,23 ab
RB94-6903	3,05 ± 5,06 a	87,88 ± 1,52 ab	11,30 ± 0,38 ab	18,06 ± 0,23 b
RB95-6911	2,07 ± 5,06 a	88,93 ± 1,52 ab	11,19 ± 0,38 ab	19,50 ± 0,23 a
SP80-3280	3,67 ± 5,06 a	87,31 ± 1,52 abc	10,73 ± 0,38 ab	18,63 ± 0,23 ab
SP81-3250	4,20 ± 5,06 a	88,87 ± 1,52 ab	11,13 ± 0,38 ab	18,24 ± 0,23 b
SP84-1431	3,60 ± 5,06 a	87,59 ± 1,52 ab	11,25 ± 0,38 ab	18,63 ± 0,23 ab
SP87-365	5,37 ± 5,06 a	87,34 ± 1,52 abc	11,09 ± 0,38 ab	18,24 ± 0,23 b
SP89-1115	5,77 ± 5,06 a	88,24 ± 1,52 ab	10,14 ± 0,38 b	18,20 ± 0,23 b
SP90-3414	4,67 ± 5,06 a	89,16 ± 1,52 a	11,33 ± 0,38 ab	17,88 ± 0,23 b
SP91-1049	5,85 ± 5,06 a	88,83 ± 1,52 ab	11,15 ± 0,38 ab	18,92 ± 0,23 ab
SP91-3011	4,70 ± 5,06 a	89,07 ± 1,52 a	11,26 ± 0,38 ab	18,59 ± 0,23 ab
CV (%)	53	1	5	2

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Dinardo-Miranda et al. (2000) observaram significativas reduções no teor de Pol% cana e incrementos no teor de Fibra% cana, em canaviais atacados pela cigarrinha.

A maior concentração de Si e a conseqüente redução na população de ninfas da cigarrinha não influenciou o Brix% cana, registrando-se 18,38% nas parcelas sem aplicação de silício e 18,58% nas parcelas onde esse elemento foi aplicado (Tabela 13). Embora outros estudos também não tenham encontrado relação entre valores de Brix e número de cigarrinhas (RAVANELI et al., 2006) é possível que em uma maior população deste inseto-praga os valores para este parâmetro sejam mais expressivos.

Já na comparação entre as cultivares, constatou-se diferença significativa entre as médias, verificando-se que o maior Brix% cana (19,50%) ocorreu na cultivar RB95-6911 o qual diferiu das médias observadas num conjunto de sete cultivares para as quais o Brix variou de 17,76 a 18,24%. Já o menor valor de Brix% cana (17,76%) ocorreu na cultivar RB92-5268, o qual diferiu apenas do maior valor (19,50%) (Tabela 13). A indústria sucroalcooleira, no estado de São Paulo, considera que uma cana, para ser industrializada, deve ter, entre outras características, um caldo que contenha, no mínimo 18° Brix, ou seja, 18% de sólidos solúveis (FERNANDES, 2000).

Não houve efeito da aplicação do silício nos teores de açúcares redutores (AR) e de açúcares totais recuperáveis (ATR), registrando-se valores de 0,54 e 0,53 para AR e de 158,84 e 160,88 $kg \cdot t^{-1}$ para ATR sem e com aplicação de silício, respectivamente (Tabela 14).

A porcentagem de AR foi diferente entre as 16 cultivares estudadas, variando entre 0,50 e 0,64 %. A cultivar que se destacou com o maior AR foi a RB92-5268, cujo valor (0,64%) diferiu dos demais com exceção dos obtidos nas cultivares RB86-7515 (0,59%), SP80-3280 (0,56%) e SP87-365 (0,55%). Já o menor valor (0,50%), constatado na cultivar SP90-3414, diferiu apenas dos registrados em 'RB86-7515' e em 'SP80-3280' (Tabela 14).

Em relação ao ATR, o maior valor (169,84 $kg \cdot t^{-1}$) foi registrado na cultivar RB95-6911, o qual diferiu de um conjunto formado por cinco genótipos para os quais as médias variaram entre 148,28 e 156,77 $kg \cdot t^{-1}$. O menor valor (148,28 $kg \cdot t^{-1}$), por outro lado, foi constatado na cultivar RB92-5268, o qual diferiu dos valores encontrados em sete outras cultivares para as quais os ATRs variaram entre 162,12 e 169,84 $kg \cdot t^{-1}$ (Tabela 14).

Ressalte-se que, embora os valores de ATR não tenham sido significativamente afetados pela aplicação de silício, constata-se uma tendência de maior ATR em plantas com aplicação do Si e com menor incidência de cigarrinhas (160,88 $kg \cdot t^{-1}$), em comparação àquelas sem aplicação

de Si e com maior incidência de cigarrinhas (158,84 $kg \cdot t^{-1}$) (Tabela 14). Assim, como atualmente o pagamento de cana se baseia no ATR seria interessante aprofundar os estudos para melhor conhecer a influência do silício nos parâmetros tecnológicos da cana sob ataque da cigarrinha-das-raízes.

Além da sacarose, participam da fração de açúcares no caldo de cana, a glicose e a frutose, entre outros menos importantes. Os açúcares redutores são produtos precursores de cor no processo industrial de açúcar, isto é, intensificam a cor do açúcar, depreciando sua qualidade (Fernandes, 2000). A cultivar RB92-5268 apresentou a maior porcentagem de açúcares redutores (0,64%), por outro lado foi a que teve a menor quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR), com 148,28 $kg \cdot t^{-1}$. No outro extremo situou-se a cultivar RB95-6911 com um valor de ATR (169,84 $kg \cdot t^{-1}$) de 14,5% a mais de ATR do que a 'RB92-5268' (Tabela 14).

Quando em altas populações, a cigarrinha-das-raízes reduz o teor de açúcar nos colmos e eleva o teor de Fibra% cana (DINARDO-MIRANDA et al., 2000; GONÇALVES et al., 2003). Além disso, os colmos mortos e secos, em decorrência do ataque da praga, diminuem a eficiência do processo de moagem e, como muitas vezes, os mesmos estão rachados e deteriorados, os contaminantes dificultam a recuperação de açúcar e inibem a fermentação, reduzindo os rendimentos industriais e dificultando a obtenção de açúcar de boa qualidade (DINARDO-MIRANDA, 2003).

De acordo com Dinardo-Miranda et al. (1999; 2000), o ataque de cigarrinha-da-raiz pode afetar a qualidade industrial da cana e esse efeito varia em função da resistência/suscetibilidade da variedade.

A população de cigarrinha-das-raízes *M. fimbriolata*, além de provocar reduções significativas na produtividade de colmos, pode alterar sensivelmente a qualidade da cana utilizada como matéria-prima na fabricação de açúcar e de álcool, conforme demonstrado neste estudo.

Tabela 14 - População de ninfas da cigarrinha-das-raízes, Açúcares Redutores (AR) e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) em 16 cultivares de cana-de-açúcar em áreas sem e com aplicação de silício (média ± erro padrão)

Silício (Si)	**Número de ninfas**	**Açúcares Redutores (AR)**	**Açúcares Totais Recuperavéis (ATR)**
	ninfas/m	%	$kg \cdot t^{-1}$
-Si	4,96 ± 5,06 a	0,54 ± 0,001 a	158,84 ± 23,71 a
+Si	3,45 ± 5,06 b	0,53 ± 0,001 a	160,88 ± 23,71 a
Cultivares			
RB85-5453	1,72 ± 5,06 a	0,51 ± 0,001 bc	162,12 ± 23,71 ab
RB86-7515	5,02 ± 5,06 a	0,59 ± 0,001 ab	153,84 ± 23,71 bc
RB92-5211	4,45 ± 5,06 a	0,51 ± 0,001 bc	163,66 ± 23,71 ab
RB92-5268	4,95 ± 5,06 a	0,64 ± 0,001 a	148,28 ± 23,71 c
RB92-5345	4,05 ± 5,06 a	0,50 ± 0,001 c	163,07 ± 23,71 ab
RB94-5961	4,10 ± 5,06 a	0,51 ± 0,001 bc	163,06 ± 23,71 ab
RB94-6903	3,05 ± 5,06 a	0,54 ± 0,001 bc	156,14 ± 23,71 bc
RB95-6911	2,07 ± 5,06 a	0,50 ± 0,001 bc	169,84 ± 23,71 a
SP80-3280	3,67 ± 5,06 a	0,56 ± 0,001 abc	160,07 ± 23,71 abc
SP81-3250	4,20 ± 5,06 a	0,51 ± 0,001 bc	159,05 ± 23,71 abc
SP84-1431	3,60 ± 5,06 a	0,54 ± 0,001 bc	160,40 ± 23,71 abc
SP87-365	5,37 ± 5,06 a	0,55 ± 0,001 abc	156,77 ± 23,71 bc
SP89-1115	5,77 ± 5,06 a	0,54 ± 0,001 bc	157,93 ± 23,71 abc
SP90-3414	4,67 ± 5,06 a	0,50 ± 0,001 c	156,39 ± 23,71 bc
SP91-1049	5,85 ± 5,06 a	0,51 ± 0,001 bc	164,80 ± 23,71 ab
SP91-3011	4,70 ± 5,06 a	0,50 ± 0,001 bc	162,28 ± 23,71 ab
CV (%)	53	6	3

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

4.4 Análise do teor de concentração de compostos fenólicos solúveis em duas cultivares de cana-de-açúcar, após diferentes períodos de infestação pela cigarrinha

Analisando os resultados obtidos para a concentração de compostos fenólicos solúveis totais (CFST) em duas cultivares de cana-de-açúcar tratadas (+Si) ou não tratadas com silício (-Si) e sob diferentes períodos de infestação (0, 12, 24 e 36 horas) com a cigarrinha *M. fimbriolata*, verificou-se que as interações entre os fatores cultivar, silício e período de exposição (horário) foram significativas apenas para silício x horário e cultivar x horário (Tabelas 15 e 16).

Com relação ao desdobramento da interação silício x horário (Tabela 15), pode-se observar que o uso do silício não alterou significativamente a concentração de CFST em nenhum dos períodos de infestação. Assim, em plantas não infestadas (0h), os valores de CFST em plantas –Si e +Si foram 19,93 e 17,79 $g \cdot kg^{-1}$MF. Já na presença de cigarrinhas, os valores obtidos nas plantas –Si e +Si foram, respectivamente, 21,79 e 24,16 $g \cdot kg^{-1}$MF na análise feita 12h após a infestação; 19,59 e 24,04 $g \cdot kg^{-1}$MF 24h após a infestação e 20,47 e 21,41 $g \cdot kg^{-1}$MF com infestação após 36h (Tabela 15). Ressalte-se que mesmo no período de 24h de infestação, quando ocorreu aumento de cerca de 23% no teor de compostos fenólicos nas plantas adubadas com Si , não houve diferença significativa entre as médias.

Já com relação aos diferentes períodos de exposição à cigarrinha-das-raízes, as plantas –Si não apresentaram diferenças significativas entre os períodos (Tabela 15), onde as concentrações variaram de 19,59 $g \cdot kg^{-1}$MF com 24h de infestação e 21,79 $g \cdot kg^{-1}$MF com 12h de infestação.

Em plantas +Si, entretanto, houve diferença entre os períodos de infestação, sendo que sem infestação (0h) o valor foi de 17,79 $g \cdot kg^{-1}$MF, o qual diferiu significativamente dos valores registrados nos períodos de 12h e 24h com 24,16 e 24,04 $g \cdot kg^{-1}$MF, respectivamente. Após 36h de infestação a concentração de CFST foi intermediária (21,41 $g \cdot kg^{-1}$MF) não diferindo das concentrações obtidas nos outros três períodos. Assim, verifica-se que nas plantas +Si, após 12h e 24h de infestação com a cigarrinha, houve aumento significativo da produção de compostos fenólicos solúveis totais, voltando a diminuir essa produção após 36h de infestação. Essa resposta mais rápida após iniciado o ataque da cigarrinha-das-raízes certamente leva ao favorecimento da planta atacada. Este mecanismo provavelmente faça parte de uma gama de reações contra o início do ataque pelo inseto, o que proporciona ou ao menos contribui para a resistência constatada nessa cultivar.

Tabela 15 - Resultados da análise de desdobramento para concentração de compostos fenólicos solúveis totais (CFST) em plantas de cana-de-açúcar com (+Si) e sem aplicação de silício (-Si) sob diferentes períodos de infestação por cigarrinha-das-raízes (média ± erro padrão)

Período de infestação	CFST		Média
	-Si	+Si	
	$g \cdot kg^{-1}$ de matéria fresca		
0h	19,93 ± 1,66 aA	17,79 ± 1,66 aA	18,86
12h	21,79 ± 1,66 aA	24,16 ± 1,66 bA	22,97
24h	19,59 ± 1,66 aA	24,04 ± 1,66 bA	21,81
36h	20,47 ± 1,66 aA	21,41 ± 1,66 abA	20,94
Média	20,44	21,85	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Como mencionado anteriormente, também houve interação entre os fatores cultivar e período de infestação e o desdobramento desta interação encontra-se na Tabela 16.

Na ausência da cigarrinha, ou seja, no tratamento 0h, as concentrações de CFST não diferiram significativamente entre as duas cultivares, sendo de 20,85 $g \cdot kg^{-1}$MF em 'SP79-1011' e de 16,87 $g \cdot kg^{-1}$MF em 'SP81-3250'. Com o aumento do período de infestação (12h e 24h) a cultivar resistente (SP79-1011) apresentou concentrações de CFST significativamente maiores do que a cultivar suscetível (SP81-3250), cujos valores foram, respectivamente, 28,11 e 17,84 $g \cdot kg^{-1}$MF após 12h de infestação e de 26,30 e 17,33 $g \cdot kg^{-1}$MF com 24h de infestação. Já após 36h de infestação, a concentração de CFST voltou a não diferir entre as duas cultivares (21,42 $g \cdot kg^{-1}$MF para 'SP79-1011' e 20,47 $g \cdot kg^{-1}$MF para 'SP81-3250').

Através destes resultados pode-se observar que durante as primeiras horas após a infestação da cigarrinha (12h e 24h) a cultivar resistente (SP79-1011) produziu uma concentração maior de CFST do que a cultivar suscetível (SP81-3250) e que este aumento na concentração de

compostos de defesa e a rápida resposta observada após o início de exposição à cigarrinha na cultivar SP79-1011 pode estar relacionada a mais uma característica de resistência desta cultivar.

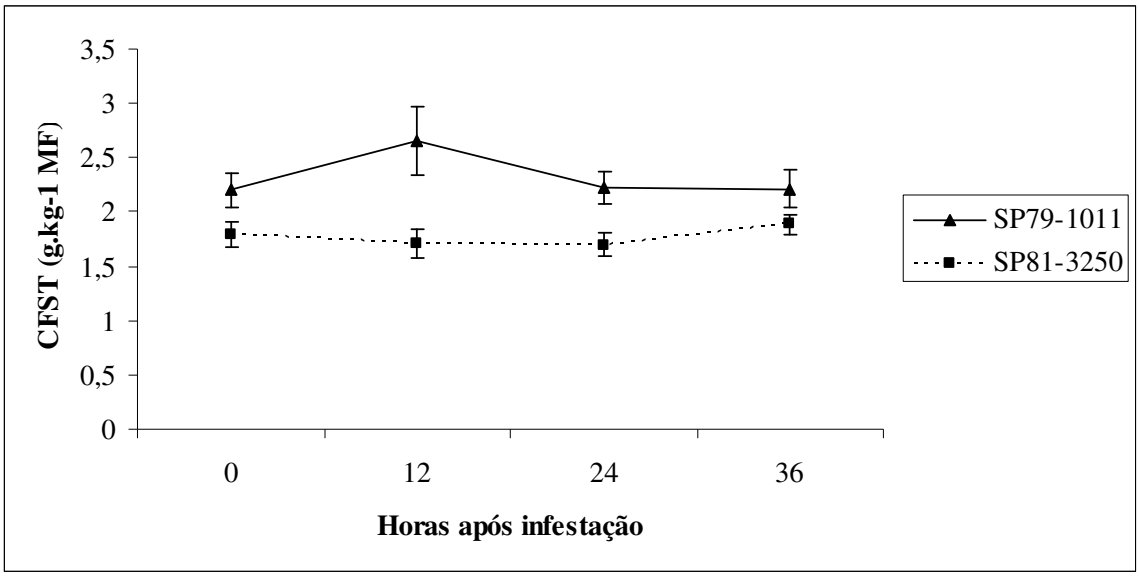
As cultivares, por outro lado, se comportaram diferentemente quando à produção de fenóis quando são observados os quatro períodos de infestação. Assim, na cultivar resistente SP79-1011, ocorreu um aumento significativo do valor de CFST de 20,85 $g \cdot kg^{-1}$MF em plantas não infestadas (0h) para 28,11 $g \cdot kg^{-1}$MF para plantas infestadas pelas cigarrinhas durante 12h. A concentração de CFST, no entanto, tendeu a cair na avaliação feita após 24 h (26,30 $g \cdot kg^{-1}$MF), tornando-se essa redução significativa após 36h (21,42 $g \cdot kg^{-1}$MF), sendo este último valor semelhante ao observado nas plantas não infestadas. Já na cultivar suscetível SP81-3250, ainda que nos diversos períodos os valores de CFST tenham variado entre 16,87 e 20,47 $g \cdot kg^{-1}$MF, não houve diferença significativa entre as médias (Tabela 16).

Tabela 16 - Resultados da análise de desdobramento para concentração de compostos fenólicos solúveis totais (CFST) em duas cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes períodos de infestação por cigarrinha-das-raízes (média ± erro padrão)

Período de infestação	**CFST**		Média
	SP79-1011	SP81-3250	
	$g \cdot kg^{-1}$ de matéria fresca		
0h	20,85 ± 1,66 aA	16,87 ± 1,66 aA	18,86
12h	28,11 ± 1,66 bA	17,84 ± 1,66 aB	22,97
24h	26,30 ± 1,66 abA	17,33 ± 1,66 aB	21,81
36h	21,42 ± 1,66 aA	20,47 ± 1,66 aA	20,94
Média	24,17	18,12	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

A)



B)

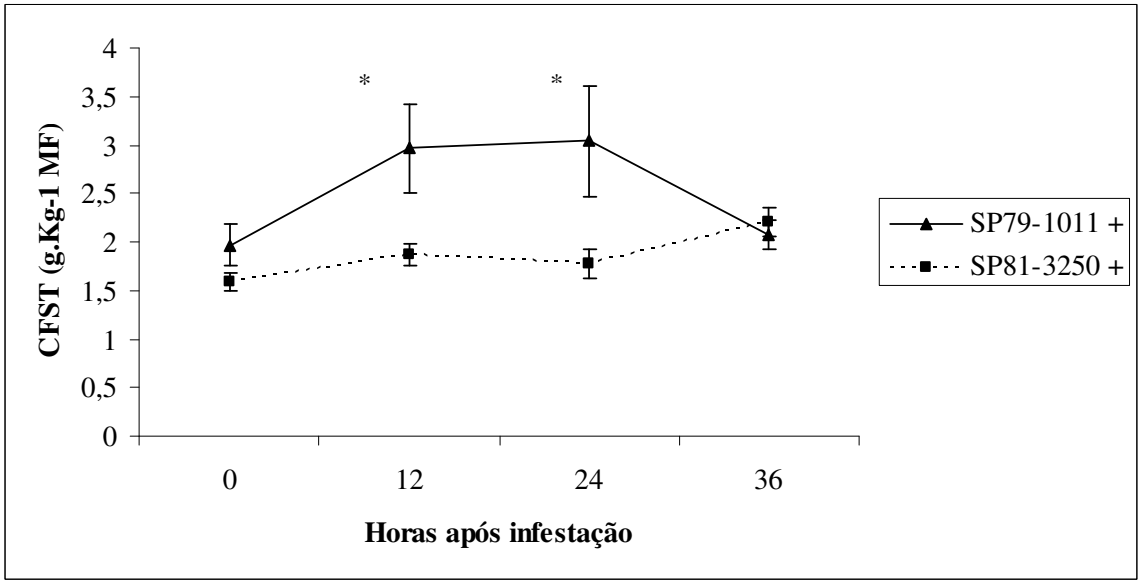


Figura 6 - Concentração dos compostos fenólicos solúveis totais (CFST) em folhas de cana das cultivares SP79-1011 e SP81-3250 sem (A) e com aplicação de silício (B) após 0, 12, 24 e 36 horas da infestação pela cigarrinha-das-raízes. Cada ponto representa a média de 8 repetições. Barras representam o erro padrão da média. * Significativo a 5% de probabilidade dentro do mesmo horário, entre cultivares diferentes

Ao contrário do que menciona a literatura, neste estudo, a adubação com silício em plantas de cana-de-açúcar não influenciou na concentração de compostos fenólicos solúveis totais após infestação pela cigarrinha-das-raízes.

Durante a morte celular, pela alimentação da cigarrinha, por exemplo, o conteúdo do vacúolo, rico em compostos fenólicos e proteinases, é liberado. À medida que as proteinases desdobram outras proteínas, são liberados aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano), os quais têm peso sobre o teor de fenóis (BUCHANAN et al., 2002) e isto pode ter interferido na concentração de compostos fenólicos amostradas nas plantas –Si.

A cigarrinha *Philaenus spumarius* (L.), assim como *M. fimbriolata*, alimenta-se principalmente da seiva xilemática. A saliva secretada por essa espécie forma uma estrutura envolvente entre o estilete e o tecido vegetal, a qual contém compostos derivados de tanino e outros fenilpropanóides (CREWS et al., 1998). É possível que fenóis oriundos do tanino tenham alguma contribuição nesses compostos observados nas plantas –Si sob infestação de cigarrinhas, o que reforça a hipótese de que o acúmulo de fenóis neste tratamento (-Si) esteja mais relacionado à alimentação das ninfas infestadas do que a um mecanismo de defesa à base de fenóis. Portanto, são necessários outros estudos aprofundando a relação entre o acúmulo de Si e a produção de fenóis em cana-de-açúcar quando atacada pela cigarrinha-das-raízes.

Outra hipótese para que plantas +Si não tenham respondido como esperado, ou seja, com uma maior concentração de fenóis do que plantas –Si, é que antes mesmo de a defesa química ser iniciada, a defesa mecânica (ou outro tipo de defesa não abordada neste estudo) pode ter afetado a alimentação da cigarrinha e esta não tenha se alimentado normalmente, o que, conseqüentemente, teria provocado menor estresse à planta. Como a produção de compostos secundários de defesa (fenóis, por exemplo) é iniciada após o ataque (NICHOLSON; HAMMERSCHMIDT, 1992; RODRIGUES et al., 2005), é possível que a interferência de plantas +Si na alimentação da cigarrinha tenha influenciado também a produção de fenóis nestas plantas. Isto reforça a idéia de que a interação entre silício e plantas na defesa contra insetos-praga é complexa e dependente de vários fatores bióticos e abióticos.

Por outro lado, este estudo demonstrou que plantas adubadas com silício responderam mais rapidamente ao ataque da cigarrinha-das-raízes com a produção de fenóis. Menzies et al. (1991) não descartam completamente a possibilidade de silicificação das paredes celulares, embora acreditem que seja mais provável que o silício afete a sinalização entre o hospedeiro e o

patógeno, resultando em uma resposta mais rápida do hospedeiro na ativação de mecanismos defesa, quando adubadas com silício.

Trabalhos na literatura demonstram que a aplicação de Si pode potencializar a produção de compostos fenólicos em plantas submetidas ao ataque de patógenos (MENZIES et al., 1991; BÉLANGER et al., 2003; RODRIGUES et al., 2005).

Para Menzies et al. (1991), o Si potencializou a produção de compostos fenólicos, reduzindo o tempo em que esses compostos foram produzidos e acumulados nas células de pepino infectadas por oídio (*Podosphaera xanthii* U. Braun e N. Shishkoff). Gomes et al. (2008), estudando a relação entre fenilalanina amônia-liase (FAL) e adubação silicatada, verificaram que o silício não afetou a atividade desta enzima. A fenilalanina amônia-liase está relacionada à síntese de compostos fenólicos com propriedades deterrentes, tóxicas e antinutricionais (APPEL, 1993; CHAMAN et al., 2001). Portanto, um aumento na atividade destas enzimas indica a síntese de compostos de defesa contra agentes externos (GOMES et al., 2005).

Segundo Gomes et al. (2005), o silício, isoladamente ou em conjunto com a pré-infestação de *S. graminum*, proporciona um aumento significativo nas atividades de peroxidase (PPO), que é responsável pela catálise de oxidação de fenóis para quinonas, que se ligam a proteínas, diminuindo assim a qualidade nutricional dos alimentos, dificultando a digestão da proteína (LUDLUM et al., 1991; FELTON et al., 1994; MOHAMMADI; KAZEMI, 2002).

Ao ser absorvido pelas plantas, o silício pode atuar como ativador de reações de defesa natural das plantas via produção de compostos fenólicos, e outras substâncias químicas (LAING; ADANDONON, 2005) como também proporcionar mudanças anatômicas nos seus tecidos, como o surgimento de células epidérmicas mais espessas, em decorrência da deposição de sílica, resultando na formação de uma barreira mecânica capaz de dificultar o ataque de insetos sugadores e mastigadores (EPSTEIN, 1999).

Os resultados deste estudo demonstraram também que as cultivares resistentes e suscetíveis produzem concentrações de compostos fenólicos solúveis diferentes ao longo do tempo e que as resistentes respondem mais rapidamente ao ataque do que as suscetíveis. Estudos anteriores conduzidos por Nutt et al. (2004) demonstraram que há diferenças nos teores e nos tipos de compostos fenólicos em cultivares de cana-de-açúcar resistentes e suscetíveis a um coleóptero-praga de raízes, *Hoplochelus marginalis* Fairmaire. Estes pesquisadores mostraram que fenóis solúveis e fenóis ligados à parede celular variam entre diferentes clones de cana-de-

açúcar e que a alimentação por este coleóptero induz alterações no tipo e na quantidade destes dois tipos de compostos fenólicos.

Em estudos realizados por Guimarães et al. (2008), as cultivares SP80-1816 e RB72454 acumularam fenóis nas raízes quando atacadas por ninfas de *M. fimbriolata*. Resultados do estudo de Wilson e Srivastava (1970) indicam que os teores fenólicos no nó, no entrenó e na bainha da folha de cultivares de cana moderadamente resistentes ao patógeno *Colletotrichum falcatum* Went., causador da podridão vermelha, são mais elevados do que nas cultivares mais sensíveis.

De acordo com Todd et al. (1971), parte da resistência apresentada por algumas cultivares de cevada é devida à presença de compostos fenólicos e flavonóides em quantidades suficientes para retardar o crescimento e a reprodução do pulgão *S. graminum*.

A maioria dos trabalhos avaliando compostos fenólicos sendo induzidos pela aplicação de silício e por cultivares resistentes envolvem interações das plantas com patógenos e, por isso, há necessidade de mais estudos analisando a influência do silício sobre a produção de compostos fenólicos e como isso interfere no ataque de insetos.

5 CONCLUSÕES

- ✓ Cultivares de cana-de-açúcar absorvem silício em quantidades diferentes quando este elemento é fornecido via solo.
- ✓ Com a adubação silicatada as plantas cultivadas em solo argiloso apresentam maior concentração de silício foliar do que as plantas cultivadas em solos arenosos.
- ✓ Cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com silício afeta a biologia da cigarrinha-das-raízes, *Mahanarva fimbriolata* (Stål), aumentando sua mortalidade e a duração da fase ninfal e diminuindo a longevidade de machos e fêmeas, sendo que estas respostas variam em função das cultivares em que os insetos se desenvolvem
- ✓ A cigarrinha-das-raízes prefere se alimentar em plantas não tratadas com silício.
- ✓ A adubação silicatada, no campo, diminui o número de ninfas, não interfere na população de adultos e aumenta os valores de Brix% caldo e de Pol% caldo, assim como do teor de fibra da cana.
- ✓ Após as primeiras horas de exposição à cigarrinha-das-raízes, a cultivar resistente SP79-1011 produz maior concentração de compostos fenólicos e, quando tratada com silício, responde mais rapidamente ao ataque.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.D.; DE PRATISSOLI, D.; ZANUNCIO, J.C., VICENTINI, V.B., HOLTZ, A.M., SERRGO, J.E. Calcium silicate and organic mineral fertilizer applications reduce phytophagy by *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) on eggplants *(Solanurn melongena* L.). **Interciencia**, Recife, v. 33, p. 835-838, 2008.

ALMEIDA, J.E.M. **Resultados do controle biológico da cigarrinha da raiz da cana-de-açúcar com *Metharhizium anisopliae*.** Ribeirão-Preto: ALCOObras; Instituto Biológico, 2004. 5 p.

ALMEIDA, J.E.M.; BATISTA FILHO, A.; SANTOS, A.S. Avaliação do controle biológico de *Mahanarva fimbriolata* (Homoptera: Cercopidae) com o fungo *Metarhizium anisopliae* em variedades de cana-de-açúcar e diferentes épocas de corte. **Arquivos do Instituto Biológico,** São Paulo, v. 70, n. 1, p. 101-103, jan./mar. 2003.

ALMEIDA, J.E.M.; BATISTA FILHO, A.; SANTOS, A.S.; ALVES, S.B.; ANDRADE, O. Controle de cigarrinha-da-raiz da cana-de-açúcar *Mahanarva fimbriolata* (Homoptera: Cercopidae) com *Metarhizium anisopliae* em sistema de cultivo orgânico. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. **Resumos...** Recife: STAB, 2002. p. 79-83.

ALVAREZ, J.; DATNOFF, L.E. The economics of silicon for integrated manegement and sustainable production of rice and sugarcane. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 209-219.

ALVES, S.B. Patologia e controle microbiano: vantagens e desvantagens. In: ALVES, S.B. (Ed.). **Controle microbiano de insetos**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 21-37.

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.

APPEL, H.M. Phenolics in ecological interactions: the importance of oxidation. **Journal of Chemical Ecology**, Heidelberg, v. 19, p. 1521-1552, 2003.

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

AWMACK, C.S.; LEATHER, S.R. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. **Annual Review of Entomology**, London, v. 47, p. 817-844, 2002.

BALASUBRAMANIAM, P.; SUBRAMANIAM, S.; CHANDRAMANIAN, P. Influence of silicon sources on the incidence of major rice pests. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais…** Uberlândia: UFU, ICIAG, 2005. p. 104.

BALBO JR., W.; MOSSIM, G.C. Ocorrência e tentativa de controle de pragas em cana crua na Usina Santo Antônio. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 40-42.

BASAGLI, M.A.B.; MORAES, J.C.; CARVALHO, G.A.; CARVALHO, C.E.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R.D.C.R. Efeito da aplicação de silicato de sódio na resistência de plantas de trigo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond., 1852) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology,** Londrina, v. 32, n. 4, p. 659-663, 2003.

BATISTA-FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, LE.; KORNDORFER, G.H. Importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. **Informações Agronômicas,** Piracicaba, n. 89, p. 1-8, mar. 2000.

BATISTA FILHO, A.; ALMEIDA, J.E.M.; SANTOS, A.S.; MACHADO, L.A.; ALVES, S.B. Eficiência de isolados de *Metarhizium anisopliae* no controle de cigarrinha-da-raiz da cana-de-açúcar *Mahanarva fimbriolata* (Homoptera: Cercopidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 70, n. 3, p. 309-314, jul./set. 2003.

BELANGER, R.R., BOWEN, P.A.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Soluble silicon: its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 329-336, 1995.

BERNARDO, E.R.A.; ROCHA, V.F.; PUGA, O.; SILVA, R.A. Espécies de cigarrinhas-das-pastagens (Hemiptera: Cercopidae) no meio-norte do Mato Grosso **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33 n. 2, p. 369-371, mar./abr., 2003.

BERNAYS, E.A. Woodhead, S. Plant phenolics utilized as nutrients by a phytophagous insect. **Science**, Washignton, v. 216, p. 201-202, 1982.

BERGVINSON, D.J.; ARNASON, J.T.; HAMILTON, R.I. Phytochemical changes during recurrent selection for resistance to the European corn borer. **Crop Science,** Madison, v. 37, p. 1567–1572, 1997.

BERTHELSEN S., NOBLE, A.D., KINGSTON, G.; HURNEY, A.; RUDD, A. **Improving yield and ccs in sugarcane through the application of silicon based amendments:** CSIRO Land and Water Final Report SRDC Project CLW009. 2003. Disponível em: <http://www.srdc.gov.au/ProjectReports/CLW009_Final_Report.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2007.

BRYANT, J.P.; CHAPIN III, F.S.; KLEIN, D.R. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. **Oikos**, London, v. 40, p. 357-368, 1983.

BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. **Biochemistry and molecular biology of plants.** London: Wiley, 2002. 1408 p.

BYERS, R.A. **Biology and control of a spittlebug, *Prosapia bicincta* (Say), on Coastal bermudagrass.** Atlanta: Georgia Agricultural Experiment Station, 1965. 26 p. (Technical Bulletin, 42).

CAMARGO, J.M.; MORAES, J.C.; OLIVEIRA, E.B.; CHIARELLO PENTEADO, S.R.; CARVALHO, R.C.Z. Effect of silicic applied on plants of *Pinus taeda* L., in the biology and morphology of *Cinara atlantica* (Wilson, 1919) (Hemiptera: Aphididae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1767-1774, nov./dez. 2008.

CARVALHO, S.P. **Efeito do silício na indução de resistência do sorgo ao pulgão verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphidae).** 1998. 43p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

CARVALHO, S.P.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G. Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond). (Homoptera:Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 28, p. 505-510, 1999.

CHAMAN, M.E.; CORCUERA, L.J.; ZUNIGA, G.E.; CARDEMIL, L.; ARGANDONA, V.H. Induction of soluble and cell wall peroxidases by aphid infestation in barley. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Palo Alto, v. 49, p. 2249–2253, 2001.

CHAN, B.G., WAISS, A.C., LUKEFAHR, M. Condensed tannins, an antibiotic chemical from *Gossypium hirsutum*. **Insect Physiology**, Exeter, v. 24, p. 113–118, 1978.

CHÉRIF, M.; BELANGER, R.R. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on Long English Cucumber. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n. 10, p. 1008-1011, 1992.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BELANGER, R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology,** Riverhead, v. 84, p. 236-242, 1994.

CHÉRIF, M; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BELANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum* . **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Mayenne, v. 41, p. 411-425, 1992.

CHÉRIF, M,; MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; BOGDANOFF, C.; BELANGER, R.R. Yield of cucumber infected with *Pythium aphanidermatum* when grown with soluble silicon. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 8, p. 896-897, 1994.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb>. Acesso em: 27 ago. 2009.

COLEY, P.D.; BRYANT, J.P.; CHAPIN III, F.S. Resource availability and plant antiherbivore defense. **Science**, Washington, v. 230, p. 889-895, 1985.

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.M; 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. 1/2, p. 37-39, 2002.

_____. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-S-methyl sobre *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 5, n. 6, p. 834-839, nov./dez. 2006.

COSTA, R.R.; MORAES, J.C.; ANTUNES, C.S. Induced resistance on wheat to *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) by silicon and acibenzolar-s-methyl. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 393-397, mar./abr. 2007.

COSTA, R.R.; MORAES, J.C.; COSTA, R.R. Silicon-imidachloprid interaction on the biological and feed behavior of *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae) on wheat plants. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 455-460, mar./abr. 2009.

CREWS, L.J.; MCCULLY, M.E.; CANNY, M.J.; HUANG, C.X.; LING, L.E.C. Xylem feeding by spittlebug nymphs: some observations by optical and cryo-scanning electron microscopy. **American Journal of Botany,** St. Louis, v. 85, n. 4, p. 449-460, 1998.

DATNOFF, L.E.; DEREN, C.W.; SNYDER, G.H. Silicon Fertilization for Disease Management of rice in Florida. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 16, p. 525-531, 1997.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 17-39.

DEGASPARI, N.; BOTELHO, P.S.M.; ALMEIDA, L.C.; MACEDO, N.; ARAÚJO, J.R. A queima da cana-de-açúcar, os efeitos sobre a população da broca *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794), seus predadores e parasitos. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 83, p. 35-40, 1983.

DEREN, C.W.; GLAZ, B.; SNYDER, G.H. Leaf–tissue silicon content of sugarcane genotypes grown on Everglades Histossols. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 16, p. 2273-2280, 1993.

DINARDO-MIRANDA, L.L. Cigarrinhas em cana crua. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos,** Piracicaba, v. 17, n. 5, 1999. Apresentado na SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 4.; FEIRA NACIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 1999, Piracicaba.

_____. **Cigarrinha-das-raizes em cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2003. 72 p.

_____. Pragas. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agronômico, 2008. v. 1, p. 349-404.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; FERREIRA, J. M.G. Eficiência de inseticidas no controle da cigarrinha das raízes *Mahanarva fimbriolata* (Stal) (Hemiptera: Cercopidae), em cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 22, n. 3, p. 35-39, 2004.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; GIL, M.A. Efeito da rotação com *Crotalaria juncea* na produtividade da cana-de-açúcar, tratada ou não com nematicidas no plantio. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 63-66, 2005.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; FERREIRA, J.M.G.; CARVALHO, P.A.M. Influência das cigarrinhas das raízes, *Mahanarva fimbriolata,* sobre a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 19, p. 34-35, 2000.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; GARCIA, V.; PARAZZI, V. Efeito de inseticidas no controle de *Mahanarva fimbriolata* (Stal) (Hemiptera: Cercopidae) e de nematóides fitoparasitos, na qualidade tecnológica e na produtividade da cana-de-açúcar. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, p. 609-614, 2002.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; PIVETTA, J.P.; FRACASSO, J.V. Eficiência de inseticidas no controle de *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) e seus efeitos sobre a qualidade e produtividade da cana-de-açúcar. **BioAssay**, Piracicaba, v. 1, n. 5, p. 1-7, 2006.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; FERREIRA, J.M.G.; LANDELLE, M.G.A.; BIDÓIA, M.A.P. Infestação de *Mahanarva fimbriolata* (Stal) (Hemiptera: Cercopidae) em genótipos de cana-de-açúcar colhidos em três épocas. **STAB. Açúcar, álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 22, n. 4, p. 46 – 49, 2004a.

DINARDO-MIRANDA, L.L; VASCONCELOS, A.C.M.; FERREIRA, J.M.G.; GARCIA JR, C.A.; COELHO, A.L; GIL, M.A. Eficiência de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) no controle de *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar. **Neotroprical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 743-749, 2004b.

DJAMIN, A., PATHAK, M.D. Role of silica in resistance to Asiatic rice borer, *Chi1o suppressalis* Walker, in rice varieties. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 60, p. 347-351, 1967.

DUDT, J.F.; SHURE, D.J. The influence of light and nutrients on foliar phenolics and herbivory**.** **Ecology**, Washington, v.75, p. 86-98, 1994.

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

ELLIGER, C.A., CHAN, B.C., WAISS, A.C. Jr. Flavonoids as larval growth inhibitor structural factors governing toxicity. **Naturwissenschaften**, Berlin, v. 67, p. 358–360, 1980.

ELLIGER, C.A.; WONG, Y.; CHAN, B.G.; WAISS, A.C. Jr.Growth inhibitor in tomato (*Lycopersicon*) to tomato fruitworm (*Heliothis zea*). **Journal of Chemical Ecology**, Heidelberg, v. 4, p. 753-758, 1981.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641–664, 1999.

ESSER, K.B. Can the application of fused calcium silicate to rice contribute to sustained yields and higher pest resistance? **Outlook on Agriculture**, Biggleswade, v. 31, n. 3, p. 199-201, 2002.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL, FAEPE, 1994. 227 p.

FAUTEUX, F.; CHAIN, R.; BELZILE, F.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. The protective role of silicon in the *Arabidopsis*–powdery mildew pathosystem. **Plant Biology**, Palo Alto, v.103, n. 46, p. 17554–17559, 2006.

FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, Riverhead, v. 88, p. 396-401, 1998.

FEENY, P.P. Plant apparency and chemical defense. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** Washington, v. 45, n. 11, p. 155-162, 1997

FELTON, G.W.; SUMMERS, C.B.; MULLER, A.J. Oxidative responses in soybean foliage to herbivory by bean leaf beetle and three cornered alfalfa leafhopper. **Journal of Chemical Ecology**, Heidelberg, v. 20, p. 639–644, 1994.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana de açúcar.** Piracicaba: STAB, 2000. 193 p.

_____. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240 p.

FEWKES, D.W. The biology of sugarcane froghoppers. In: WILLIAWS, J.R.; METCALFE, J.R., MUNGOMERY, R.W.; MATHES, R. (Ed.). **Pests of sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, 1969. p. 283-307.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Disponível em: < http://www.agrafnp.com.br>. Acesso em: 27 ago. 2009.

GALLO, D.; NAKANO,O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 649 p.

GARCIA, J.F. **Técnica de criação e tabela de vida de *Mahanarva fimbriolata* (Stal, 1854) (Hemiptera: Cercopidae).** 2002. 59 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

_____. **Bioecologia e manejo da cigarrinha das raízes, *Mahanarva fimbriolata* (Stal, 1854) (Hemiptera: Cercopidae), em cana de açúcar.** 2006. 99 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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

GODSHALL, M.A. Removal of colorants and polysaccharides and the quality of white sugar. In ASSOCIATION A.V.H. SYMPOSIUM, 6., 1999, Reims. p. 28-35.

GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; SANTOS, C.D. dos; ANTUNES, C.S. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, p. 185-190, 2008.

GOMES, F.B.; MORAES, C.; SANTOS, C.D. dos; GOUSSAIN, M.M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

GONÇALVES, T.D.; MUTTON, M.A.; PEREIRA, D.; CAMPANHÃO, J.M.; MUTTON, M.J.R. Qualidade da matéria-prima em função de diferentes níveis de danos promovidos pela cigarrinha-das-raízes. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 22, n. 2, p. 29–33, 2003.

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, Sept./Oct. 2005.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera:Noctuidae). **Neotropical Entomology,** Londrina, v. 31, p. 305–310, 2002.

GRUPTA, S.C.; YAZDANI, S.S.; HAMEED, S.F.; AGARWAL, M.L. Effect of potash application on incidence of *Scirpophaga excerptalis* Walker in sugarcane. **Journal of Insect Science**, Madison, v. 5, p. 97-98, 1992.

GUAGLIUMI, P. Cigarrinha da raiz. In: _____. (Ed.). **Pragas da cana-de-açúcar.** Rio de Janeiro: IAA, 1973. p. 69-103.

GUÉVEL, M.H.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, Amsterdam, v. 119, n. 4, p. 119-130, 2007.

GUIMARÃES, E.R.; MUTTON, M.A.; TIRABOSCHI, M.I.F.; SILVA, J.A.; MUTTON, M.J.R. Níveis constitutivos de compostos fenólicos podem estar relacionados à resistência da cana-de-açúcar à cigarrinha-das-raízes. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente,** Marília, v. 1, n. 3, p. 357-365, set./dez. 2008.

HALAIS, P. Si, Ca, Mn contents of cane leaf sheaths, a reflection of pedogenesis. **Mauritius Sugar Industry Research Institute**, Réduit, n. 4, p. 83-85, 1967.

HAMMERSCHRNIDT R. Silicon and plant defense: the evidence continues to mount. **Physiological and Molecular Plant Pathology***,* Mayenne, v. 66, p. 117-118, 2005.

HANISCH, H.C. Die Populationsentwicklung von Getreideblattlausen an Weizenpflanzen nach verschieden hoher Stickstoffdungung und vorbeugender Applikation von Kieselsaure zur Wirtspflanze. **Mitteilungen der Deutschen Gese1kchaft firr Allgemeine und Angewandte Entomologie***,* Basel, v. 3, p. 308-311, 1981.

HARBORNE, J.B. Flavonoid pigments. In: ROSENTHAL, G.A.; JANZEN, D.H. (Ed.). **Herbivores:** their interaction with secondary plant metabolites. London: Academic Press, 1979. p. 619-655.

KARBAN, R.; BALDWIN, I.T. **Induced response to herbivory**. Chicago: University of Chicago Press, 1997. 288p.

KEEPING, M.G.; KVEDARAS, O.L. Silicon as a plant defense against insect herbivory: response to Massey, Ennos and Hartley. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 77, p. 631-633, 2008.

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.

_____. 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.; BRENCHLEY, P. Silicon enhances resistance of sugarcane to African stalk borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENTOMOLOGY, 22., 2004, Brisbane. **Proceedings…** Brisbane: Australian Entomological Society, 2004. p. 75-77.

KESSLER, A.; BALDWIN, I.T. Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. **Annual Review of Plant Biology,** Palo Alto, v. 53, p.299–328, 2002.

KOLLER, W.W.; VALÉRIO, J.R. Preferência de cigarrinhas-das-pastagens por plantas de *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk com diferentes características morfológicas. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Natal, v. 16, p. 131-143, 1987.

KORNDÔRFER, A.P. **A importância do silício nas relações entre herbívoros e *Davilla elliptica* (Dilleniaceae) St. Hill no cerrado**. 2006. 31 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

KORNDÖRFER, G.H. **Silício na agricultura reduz pragas e doenças.** Disponível em: <http://www11.agestado.com.br/ cet/caplic/ca138.htm>. Acesso em: 12 mar. 2005.

_____. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 356-374.

KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa, no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 70, p. 1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura.** Uberlândia: UFU, GPSi, ICIAG, 2002. 23 p. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico, 1).

_____. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura.** Uberlândia: UFU; Iciag, 2004. 24p.

KVEDARAS, O.L.; KEEPING, M.G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Hoboken, v. 125, p. 103-110, 2007.

KVEDARAS, O.L.; KEEPING, M.G.; GOEBEL, F-R.; BYRNE, M.J. Larval performance of the pyralid borer *Eldana saccharina* Walker and stalk damage in sugarcane: influence of plant silicon, cultivar and feeding site. **International Journal of Pest Management**, London, v. 53, p. 183-194, 2007.

LAING, M.D.; ADANDONON, A. Silicon and insect management : review. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Proceedings…** Uberlândia: Federal University of Uberlândia, 2005. p. 41–50.

LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M.A.; VASCONCELOS, A.C.M.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, D.N.; ANJOS, I.A.; PRADO, H. de; PINTO, L.R.; CRESTE, S.A.; SCARPARI, M.S.; ROSA JR, V.; DINARDO-MIRANDA, L.; AZANIA, C.A.M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, M. de A.; MARTINS, A.L.M.; GALLO, P.B.; KANTHACK, R.A.D.; CAVICHIOLI, J.C.; VEIGA FILHO, A.A.; MENDONÇA, J. R. de; DIAS, F.L.F.; GARCIA, J.C. **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil:** 15ª liberação do Programa Cana IAC (1959- 2005). Campinas: Instituto Agronômico, 2005. 37 p. (IAC. Boletim Técnico, 197).

LAPOINTE, S.L.; SONODA, R.M. The effect of arthropods, diseases, and nematodes on tropical pastures. In: SOTOMAYOR-RIOS, A.; PITMAN, W.D. (Ed.). **Tropical forage plants:** development and use. Boca Raton: CRC Press, 2001. chap. 12, p. 201-218.

LARA, M. **Princípio de resistência de plantas e insetos**. 2. ed. São Paulo: Ícone. 1991. 336 p.

LEATHER, S.R. Evidence of ovulation after adult moult in the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi.* **Entomologia Experimentalis et Applicata,** Dordrecht, v. 33, p. 348-349, 1983.

_____. Oviposition preferences in relation to larval growth rates and survival in the pine beauty moth, *Panolis flammea*. **Ecology Entomology**, London, v. 10, p. 213-217, 1985.

LEITE, G.M.V.; ANDRADE, L.A.B.; GARCIA, J.C.; ANJOS, I.A. Efeitos de fontes e doses de silicato de cálcio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar SP80-18161. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1120-1125, jul./ago. 2008.

LEITE, L.G. **Ocorrência, produção e preservação de micélio seco de *Batkoa* sp. e *Furia* sp., patógenos das cigarrinhas das pastagens.** 2002. 151 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LIU, F; SONG, Y.; BAO, S.; LU, H.; ZHU,S.; LIANG, G. Resistance to small brown planthopper and its mechanism in rice varieties. **Acta Phytophylacica Sinica**, Pequim, v. 34, p. 449-454, 2007

LOOMIS, W.E. Growth-differentiation balance vs. carbohydratenitrogen ratio. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 29, p. 240- 245, 1932.

LOPES, M.L.; AMORIM, H.V. Efeito da variedade e época de colheita no teor de fenóis totais em cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 3, p. 36-39, 2006.

LORINI, I. **Efeito de pós inertes sobre as pragas de grãos de cevada armazenada *Rhyzopertha dominica* e *Sitophilus* spp.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 62). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co62.htm>. Acesso em: 23 mar. 2009.

LORINI, I.; FERREIRA FILHO, A.; DALBELLO, O. **Validação do pó inerte à base de terra de diatomáceas no controle de pragas de milho armazenado em propriedade familiar**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 63). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co63.htm>. Acesso em: 23 mar. 2009.

LOUREIRO, E.S.; BATISTA FILHO, A.; ALMEIDA, J.E.M.; PESSOA, L.G.A. Seleção de isolados de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. contra a cigarrinha da raiz da cana-de-açúcar *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) em laboratório**. Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 791-798, 2005.

LUDLUM, C.T.; FELTON, G.W.; DUFFEY, S.S. Plant defenses: chlorogenic acid and polyphenol oxidase enhance toxicity of *Bacillus thuringiensis* subsp.kurstaki to *Heliothis zea.* **Journal of Chemical Ecology**, Heidelberg, v. 17, n. 1, p. 217-237, 1991.

MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, p. 11–18, 2004.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier Science, 2002. 281 p.

MA, J.F.; TAMAI, K.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; KATSUHARA, M.; ISHIGURO, M.; MURATA, Y.; YANO, M. A silicon transporter in rice. **Nature**, London, v. 440, n. 7084, p. 688-691, Mar. 2006.

MACEDO, N; MACEDO, D. As pragas de maior incidência nos canaviais e seus controles. **Visão Agrícola***,* Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 38-46, 2004.

MACEDO, N.; BOTELHO, P.S.M.; CAMPOS, M.B.S. Controle químico da cigarrinha-da-raíz em cana-de-açúcar e impacto sobre as populações de artrópodes. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.21, p.30-33, 2003.

MADALENO, L.L.; RAVANELI, G.C.; PRESOTTI, L.E.; MUTTON, M.A.; FENANDES, O.A.; MUTTON, M.J.R. Influence of *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) injury on the quality of cane juice. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 68-73, 2008.

MARBY, T.J.;. LIU, Y.L.; PEARCE, J.; DELLAMONICA, G.; CHOPIN, J.; MARKHAM, K.R.; PATON, N.H.; SMITH, P. New flavonoids from sugarcane (*Saccharum*). **Journal of Natural Products**, Washington, v. 47, p. 127–130, 1984.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 1995. 920 p.

MASSEY, F.P.; ENNOS, A.R.; HARTLEY, S.E. Herbivore specific induction of silica-based plant defense. **Oecologia**, Heidelberg, v. 152, p. 677-683, 2007.

MATICHENKOV, V.V.; BOCHARNIKOVA, E.A. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture.** Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 133-147.

MATLOU, M.C. **A comparison of soil and foliar-applied silicon on nutrient availability and plant growth and soil-applied silicon on phosphorous availability.** 2006. Thesis (M.Sc) - University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg, 2006.

MCGHIE, T.K. **A survey of pre-formed and induced defence mechanisms associated with resistance of sugarcane to the fungal root pathogen *Pachymetra chaunorhiza*.** 1997. 193 p. Thesis (PhD) - University of Queensland, Brisbane, 1997.

MENDES, A.C.; BOTELHO, P.S.M.; MACEDO, N.; SILVEIRA NETO, S. Behavior of the adults of the root froghopper, *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854) (Homoptera: Cercopidae), according to climatic parameters. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 3., 1977, São Paulo. **Proceedings…** São Paulo: ISSCT, 1977. p. 617-631.

MENDONÇA, A.F. **Pragas da cana-de-açúcar**. Maceió: Insetos & Cia, 1996. 239 p.

_____. Cigarrinha da raiz *Mahanarva fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae). In: _____. **Cigarrinhas da cana-de-açúcar:** controle biológico. Maceió: Insecta, 2005. p. 95-136.

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; SAMUELS, A.L. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Mayenne, v. 39, p. 403-414, 1991a.

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, Riverhead, v. 81, p. 84-88, 1991b.

MEYER, J.H.; KEEPING, M.G. Impact of silicon in alleviating biotic stress in sugarcane in South Africa. **Sugar Cane International**, Duran, v. 23, p. 14–18, 2005.

MILLER, B.S.; ROBINSON, R.J.; JONHSON, J.A.; JONES, E.T.; PONNAIYA, B.W.X. Studies on the relations between silica in wheat plants and resistance to Hessian fly attack. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 53, p. 995-999, 1960.

MOHAMMADI, M.; KAZEMI, H. Changes in peroxidase and polyphenol oxidase activies in susceptible and resistant wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. **Plant Science**, London, v. 162, p. 491-498, 2002.

MORAES, J.C., GOUSSAIN, M.M.; CARVALHO, G.A.; COSTA, R.R. Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 761-766, 2005.

MORAES, J.C.; GOUSSAIN, M.M.; BASAGLI, M.A.B.; CARVALHO, G.A.; ECOLE, C.C.; SAMPAIO, M.V. Silicon influence on the tritrophic interaction: wheat plants, the Gressnbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). **Neotrotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 619-624, 2004.

NAKANO, K.; ABE, G.; TAKETA, H.; HIRANO, C. Silicon as an insect resistant component of host plant , found in the relation between the rice-stem borer and rice plant. **Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, n. 5, p. 17-27, 1961.

NAKATA, Y.; NAKATA, M.; UENOA, J.; KIHARAA, M.; ICHIIB, S.; TAKETAC, S.; ARASEA, P. Rice blast disease and susceptibility to pests in a silicon uptake-deficient mutant *lsi1* of rice. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 27, p. 865–868, 2008.

NASCIMENTO, R.; TANNO, W.Q.; ROSA, J.H.; GARCIA, A.A.F.; ARIZONO, H. Estudo dos comportamentos de variedades e clones de cana-de-açúcar na região de Monte Belo-MG, três épocas de colheita. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 331-336.

NERI, D.K.P.; MORAES, C.; GAVINO, M.A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1167-1174, 2005

NICHOLSON, R.L.; HAMMERSCHMIDT, R. Phenolic compounds and their role in disease resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.30, p.369-389, 1992.

NUTT, K.A.; O'SHEA, M.G.; ALLSOPP, P.G. Feeding by sugarcane whitegrubs induces changes in the types and amounts of phenolics in the roots of sugarcane **Environmental and Experimental Botany**, London, v. 51, p. 155–165, 2004.

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

PAINTER, R.H. **Insect resistance in crop plants**. Lawrance: The University Press of Kanzas, 1951. 520 p.

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

PARRELLA, M.P.; COSTAMAGNA, 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.

PASSOS, S.M.G.; RESENDE - FILHO, V.C.; JOSÉ, A. Cana-de-açúcar: pragas e doenças In: INSTITUTO CAMPINEIRO DE ENSINO AGRÍCOLA. **Principais culturas.** 2. ed. Campinas, 1973, p. 406–407.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Areia Quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB. Açúcar Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, p. 36-39, 2000

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Agronômica Ceres; Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

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

RAMPELOTTI, F.T.; FERREIRA, A.; PRANDO, H.F.; GRÜTZMACHER, A.D.; MARTINS, J.F.S.; TCACENCO, F.A.; MATTOS, M.L.T. Patogenicidade de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin sobre as fases do desenvolvimento de *Tibraca limbativentris S*tal (Hemiptera: Pentatomidae) em condições de laboratório. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 74, n. 2, p. 141-148, abr./jun. 2007

RAVANELI, G.C. **Efeito da cigarrinha-das-raízes com tratamento químico sobre a qualidade da matéria-prima e fabricação de álcool.** 2005. 71 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2005.

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

REYNOLDS, O.L.; KEEPING, M.G.; MEYER, J.H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, Hoboken, v. 155, p. 171–186, 2009.

RICHMOND, K.E.; SUSSMAN, M. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 6, p. 268-272, 2003.

RODRIGUES, F.A; JURICK, W.M.; DATNOFF, L.E; JONES, J.B.; ROLLINS, J.A. Silicon influences cytological and molecular events in compatible and incompatible rice-*Magnaporthe grisea* interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Mayenne, v. 66, p. 144-159, 2005.

ROSS, L.; NABABSING, P.; WONG, Y.C.; CHEONG, Y. Residual effect of calcium silicate applied to sugarcane soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., 1974, Durban. **Proceedings…** Durban: Hayne & Gibson, 1974. p. 539-542.

ROSSETTO, R.; LIMA FILHO, O.F.; AMORIM, H.V.; TSAI, S.M.; CAMARGO, M.S.; MELONI,A.B. Silicon content in different sugarcane varieties. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Proceedings…** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p. 134.

SALIM, M.; SAXENA, R.C. Iron, silica, and aluminum stresses and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 212-219, 1992.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. 4th ed. Belmont: Wadsworth Publ., 1992. 682 p.

SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). **Canadian Journal of Botany**, Guelph, v. 69, p. 140-146, 1991.

SAVANT, N.K.; KORNDORFER, G.H.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 22, p. 1853-1903, 1999.

SEEBOLD, K.W.; KUCHAREK, T.A.; DATNOFF, L.E.; CORREA-VICTORIA, F.J.; MARCHETTI, M.A. The influence of silicon on components of resistance to blast in susceptible, partially resistant and resistant cultivars of rice. **Phytopathology**, Riverhead, v. 91, p. 63-69, 2001.

SEIGLER, D.; PRICE, P.W. Secondary compounds in plants: primary functions. **American Naturalist**, Chicago, v. 110, p. 101-105, 1976.

SERRATOS, A.; ARNASON, J.T.; NOZZOLILLO, C.; LAMBERT, J.D.H.; PHILOGENE, B.J.R.; FULCHER, G.; DAVIDSON, K.; PEACOCK, L.; ATKINSON, J.; MORAND, P. Factors contributing to resistance of exotic maize populations to maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Chemical Ecology**, Heidelberg, v. 13, p. 751–762, 1987.

SÉTAMOU, M.; SCHULTHESS, F.; BOSQUE-PÉREZ, N.A.; THOMAS-ODJO, A. Effect of plant nitrogen and silica on the bionomics of *Sesamia calamistis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Bulletin of Entomological Research**, Cambridge, v. 83, p. 405-411, 1993.

SILVA, J.A. **Plant, mineral nutrition**: yearbook of science and technology. New York: McGraw-Hill, 1973. 128 p.

SILVA, R.J.N.; GUIMARÃES, E.R.; GARCIA, J.F.; BOTELHO, P.S.M.; FERRO, M.I.T.; MUTTON, M.A.; MUTTON, M.J.R. Infestation of froghopper nymphs changes the amounts of total phenolics in sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 543-546, 2005.

SILVEIRA, L.C.I.; OLIVEIRA, N.W.; BARBOSA, M.H.P; ANDRADE, M.B.M.; MENDES, L.C. Crescimento e produção de sacarose por seis variedades de cana. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 331-336.

SIMIONI, K.R.; SILVA, L.F.L.F.; BARBOSA, V.; RÉ, F.E.; BERNADINO, C.P.; RAVANELI, G.C.; MADALENO, L.L.; PRESOTTI, L.E.; MUTTON, M.A.; MUTTON, M.J.R. Spittlebug infestation in sugarcane affects ethanolic fermentation**. Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 6, p. 534-539, 2006.

SINGH, R.; AGARWAL, R.A. Role of chemical components of resistant and susceptible genotypes of cotton and okra in ovipositional preference of cotton leafhopper. **Proceedings of the Indian Academy of Sciences: Animal Sciences**, New Jersey, v. 97, p. 545-550, 1988.

STINGEL, E. **Distribuição espacial e plano de amostragem para a cigarrinha-das-raízes, *Mahanarva fimbriolata* (Stål,1954), em cana-de-açúcar.** 2005. 75 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005

STUPIELLO, J.P. A filha da matéria prima. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 2 p. 12, 2002.

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

SUDHAKAR, G.K.; SINGH, R.; MISHRA, S.B. Susceptibility of rice varieties of different durations to rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guen, evaluated under varied land situations. **Journal of Entomological Research**, Ankara, v. 15, p. 79-87, 1991.

SWAIN, T. Phenolics in the environment. In: SWAIN, T.; HARBORNE, J.B.; VAN SUMERE, J. (Ed.). **Recent advances in phytochemistry.** New York: Plenum Press, 1979. v. 12, p. 624–637.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TODD, G.W.; GETAHUM, A.; CREE, D.C. Resistance in barley to the greenbug *Schizaphis graminum*. Toxicity of phenolic and flavanoid compounds and related substances. **Annals of the Entomological Society of America,** Columbia, v. 64, p. 718-722, 1971.

VALÉRIO, J.R. Pragas em pastagens: identificação e controle. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 22., 2005, Piracicaba. **Teoria e prática da produção animal em pastagens.** Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 353-386.

WILLIAMS, C.A.; HARBORNE, J.B.; SMITH, P. Taxonomic significance of leaf flavonoids in *Saccharum* and related genera. **Phytochemistry**, Egham, v. 13, p. 1141–1149, 1974.

WILSON, K.I.; SRIVASTAVA, D.N. Studies on the nature of red rot resistance in sugarcane. II. Effect of chlorogenic acid on the spore germination of *Colletotrichum falcatum* Went. **Journal of Phytopathology**, Hoboken, v. 71, n. 1, p. 29-32, 1971.

YOSHIDA, A.S.; OHNISHI, Y; KITAGISHI, K. Histochemistry of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition,** Hoboken, v. 8, p. 107-111, 1962.

YOSHIHARA, T.; SOGAWA, K. Soluble silicic and insoluble silica contents in leaf sheaths of rice varieties carrying different BPH-resistance genes. **International Rice Research Newsletter**, Los Banõs, v. 4, p. 12-13, 1979.

ZSOLDOS, F.; VASHEGYI, A.; PECSVARADI, A.; BONA, L. Influence of silicon on aluminum toxicity in common and durum wheats. **Agronomie**, New Jersey, n. 23; p. 349–354, 2003.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo