



**FABÍOLA ALVES SANTOS**

**MILHO *Bt* E SILÍCIO NA RESISTÊNCIA A  
*Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA:  
NOCTUIDAE)**

**LAVRAS - MG**

**2011**

**FABÍOLA ALVES SANTOS**

**MILHO *Bt* E SILÍCIO NA RESISTÊNCIA A *Spodoptera frugiperda*  
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia/Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Jair Campos Moraes

**LAVRAS - MG**

**2011**

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

Santos, Fabíola Alves.

Milho *Bt* e silício na resistência a *Spodoptera frugiperda*  
(Lepidoptera: Noctuidae) / Fabíola Alves Santos. – Lavras: UFLA,  
2011.

39 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Jair Campos Moraes.

Bibliografia.

1. *Chrysoperla externa*. 2. *Coffea arabica*. 3. Seletividade. 4.  
Controle biológico. 5. Acaricidas. 6. *Brevipalpus phoenicis*. 7.  
*Oligonychus ilicis*. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.73995

**FABÍOLA ALVES SANTOS**

**MILHO *Bt* E SILÍCIO NA RESISTÊNCIA A *Spodoptera frugiperda*  
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia/Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 06 de maio de 2011

Dra. Simone Martins Mendes      EMBRAPA-CNPMS

Dr. Rogério Antônio Silva      EPAMIG

Dr. Jair Campos Moraes  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2011**

*A Deus misericordioso, pela presença constante em minha vida, guiando,  
protegendo e iluminando,*

## **AGRADEÇO**

*Ao meu lindo e amoroso esposo, Eder (in memoriam), que sempre esteve comigo  
em todos os momentos, me dando conselhos, carinho e o amor sempre  
incondicional. Minha fortaleza dada por Deus. Com muito AMOR E*

*SAUDADE!*

## **DEDICO**

*Aos meus pais, Eduardo e Thelma, pelo presente mais precioso que alguém  
pode receber: a vida e por revestirem a minha existência e a de minha irmã de  
todos os valores que nos transformaram em pessoas responsáveis e conscientes,  
e também por todo amor, carinho e cada lição de vida transmitida. A minha  
irmã Yara por todo apoio, amizade e orgulho,*

## **OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras – UFLA, ao Departamento de Entomologia e a Embrapa Milho e Sorgo - CNPMS, pela realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Dr. Jair Campos Moraes, pela orientação, ensinamento, confiança, amizade, compreensão e a oportunidade de realização deste trabalho, responsável pela minha satisfação profissional, acreditando no meu potencial e me auxiliando sempre nessa caminhada

À pesquisadora Dra. Simone Martins Mendes, do CNPMS – Embrapa Milho e Sorgo, que mesmo sem conhecer, me recebeu de braços abertos, me orientando, ensinando e ajudando de todas as formas para que tudo desse certo, pessoa que aprendi a admirar e respeitar a agradeço com muito carinho, por ter me aceitado como coorientanda e amiga.

Ao pesquisador e amigo Dr. Rogério Antônio Silva pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

À Banca examinadora, pela participação para o aprimoramento desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Entomologia, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas, funcionários e amigos do Departamento de Entomologia pela convivência, amizade e ajuda durante o curso e o apoio dado em momentos tão importantes.

À amiga Michelle Vilela, que se tornou grande amiga, agradeço todo apoio e carinho.

Aos funcionários do CNPMS – Embrapa Milho e Sorgo, principalmente Eustáquio, Thaís, Octávio, Ismael, Ademilson, pela ajuda e convivência harmoniosa durante todo o tempo.

Aos meus avós e todos os familiares que mesmo distante sei que me apoiam e abençoam.

Aos meus sogros Sebastião e Olinda e toda família, pela amizade sincera, estando sempre ao meu lado aconselhando e ajudando.

À Laura grande amiga e companheira, por ter vivido cada momento bom ou ruim ao meu lado, apoiando-me, aconselhando e ensinando.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho e que tanto me apoiaram nesse importante momento.

**Muito Obrigada!!!**

“Viver é sempre dizer aos outros que eles são importantes, que nós os amamos, porque um dia eles se vão e ficamos com a nítida impressão de que não os amamos o suficiente.”

(Chico Xavier)

## RESUMO

O objetivo nesta pesquisa foi avaliar o efeito do milho *Bt*, expressando diferentes toxinas Cry 1A(b) e Cry 1F, e a aplicação de silício em algumas variáveis biológicas de *S. frugiperda*, a preferência alimentar das lagartas e os danos causados pelo inseto-praga nas plantas. Os tratamentos testados foram: T1) milho não *Bt*; T2) milho não *Bt* + Silício; T3) milho *Bt* Cry 1A(b); T4) milho *Bt* Cry 1A(b) + Silício; T5) milho *Bt* Cry 1F; e T6) milho *Bt* Cry 1F + Silício. Avaliaram-se variáveis biológicas do inseto, danos nas plantas por meio de escala de notas e a preferência alimentar das lagartas para os diferentes tratamentos. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Pelos resultados em laboratório e casa de vegetação pode-se concluir que o milho Cry 1F é altamente resistente a lagarta e o milho Cry 1A(b) apresenta resistência moderada. Já a aplicação de silício tem efeito benéfico tanto no milho *Bt* Cry 1A(b) como no milho não *Bt*, elevando o grau de resistência, respectivamente, para altamente e moderadamente resistente a *S. frugiperda*. Entretanto, experimentos a campo ainda são necessários para a validação desses resultados.

Palavras-chave: Insecta. Poaceae. Resistência induzida. Organismo geneticamente modificado. Manejo Integrado de Pragas.

## ABSTRACT

The objective in this research work was to evaluate the effect of the transgenic corn, containing different toxins Cry 1A(b) and Cry 1F and the application of silicon in some biological variables of *S. frugiperda*, the feeding preference of the fall armyworms and the damages caused in the plants. The treatments tested were: T1) non- *Bt* corn; T2) non- *Bt* corn + Silicon; T3) *Bt* Cry 1A(b) corn; T4) *Bt* Cry 1A(b) corn + Silicon; T5) *Bt* Cry 1F corn; and T6) *Bt* Cry 1F corn + Silicon. The insect's biological variables, damages in the plants by means of score scale and the feeding preference of the fall armyworms for the different treatments. The data were submitted to the analysis of variance and the means compared by Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ). From the laboratory and greenhouse results, one can conclude that Cry 1F corn is highly resistant to the fall armyworm and Cry 1A(b) corn presents moderate resistance. However, silicon application has a beneficial effect both on *Bt* Cry 1A(b) corn and on non-*Bt* corn, raising the resistance degree, respectively, to highly and moderately resistant to *S. frugiperda*. Nevertheless, field experiments are not yet necessary for the validation of those results.

Keywords: Insecta. Poaceae. Induced resistance. Genetically Modified Organism. Integrated Pest Management.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
<b>2.1</b>	<b>Cultura do milho</b> .....	13
<b>2.2</b>	<b>A lagarta-do-cartucho do milho</b> .....	14
<b>2.3</b>	<b>Milho <i>Bt</i></b> .....	15
<b>2.4</b>	<b>O silício</b> .....	18
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
<b>3.1</b>	<b>Aspectos biológicos de <i>S. frugiperda</i> em folhas de milho <i>Bt</i> [Cry 1A(b) e Cry 1F] e o isogênico não <i>Bt</i>, com e sem a aplicação de silício</b> .....	22
<b>3.2</b>	<b>Preferência de lagartas em teste de livre escolha</b> .....	23
<b>3.3</b>	<b>Avaliação de alguns aspectos biológicos e do dano causado pela infestação de <i>S. frugiperda</i> em plantas de milho</b> .....	24
<b>3.4</b>	<b>Análise estatística</b> .....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
<b>4.1</b>	<b>Aspectos biológicos de <i>S. frugiperda</i> em folhas de milho <i>Bt</i> [Cry 1A(b) e Cry 1F] e o isogênico não <i>Bt</i>, com e sem a aplicação de silício</b> .....	26
<b>4.2</b>	<b>Preferência de lagartas em teste de livre escolha</b> .....	28
<b>4.3</b>	<b>Avaliação de alguns aspectos biológicos e do dano causado pela infestação de <i>S. frugiperda</i> em plantas de milho</b> .....	29
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	33
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio do milho é uma das atividades econômicas mais importantes atualmente no Brasil, além de ter a cada safra, aumentos de produtividade e eficiência na utilização de insumos. Assim, aumenta a sua competitividade frente ao mercado mundial que atende a demandas mundiais com o aumento do consumo de carnes e para produção de etanol (ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA – AGRIANUAL, 2011).

Entretanto, apesar de estar entre os três maiores produtores de milho, o Brasil não se destaca entre os países com maior produtividade média no país (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2009). São inúmeros os fatores que interferem na sua produção, como o clima, a fertilidade do solo, o tipo de solo, além dos insetos-praga que atacam a cultura praticamente em todas as fases de seu ciclo (SANTOS et al., 2006).

Dentre as pragas mais importantes da cultura do milho destaca-se a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), que em condições climáticas favoráveis apresenta um elevado potencial reprodutivo. Dessa forma, aumenta rapidamente sua população, ocasionando danos nas folhas e no cartucho, comprometendo o vigor das plantas e, conseqüentemente, a produção de grãos. No Brasil, as perdas oscilam entre 34 e 40% (CRUZ; FIGUEIREDO; MATOSO, 1999; FERNANDES, 2003). Segundo Etges (2010), as perdas estimadas em função da infestação desta praga no Brasil são da ordem de 400 milhões de dólares por ano.

Para o manejo dessa praga são recomendadas várias estratégias, incluindo métodos culturais, químicos e biológicos (CAPINERA, 2010), que utilizadas em conjunto são conhecidas como Manejo Integrado de Pragas (MIP). Dentre os químicos, vários princípios ativos de inseticidas (VIANA; PRATES, 2005), que por mais eficazes sejam, apresentam alguns inconvenientes como a

contaminação do ambiente por seus resíduos (CAPALBO; FONTES, 2004). Por isso, alternativas para solucionar tal problema são propostas, como por exemplo, a facilidade da utilização do milho *Bt* que vem sendo cultivado no Brasil desde a safra 2007/2008 (LOURENÇÃO; BARROS; MELO, 2009).

A utilização de métodos de controle integrado é estratégia básica no Manejo Integrado Pragas (MIP) e, também, desejável no manejo de resistência de insetos. Dessa forma, a indução de resistência em plantas que pode se tornar uma recomendação viável para o controle de insetos-praga, isoladamente ou em associação com as demais práticas de manejo. O silício é um indutor natural de resistência de plantas a pragas e doenças, além de ser o segundo elemento mais abundante no solo e facilmente absorvido pelas plantas na forma de ácido silícico. Após absorvido, é translocado e depositado logo abaixo da cutícula, formando uma dupla camada de silício-cutícula que confere proteção contra fatores abióticos, toxidez por elementos, salinidade, geada e fatores bióticos, como o ataque de insetos (EPSTEIN, 1994, 1999; MA; YAMAGI, 2006; RANGANATHAN et al., 2006). Pesquisas realizadas têm demonstrado que plantas tratadas com silício apresentam resistência ao ataque de insetos-praga sugadores (COSTA; MORAES; COSTA, 2009, 2011) e mastigadores (GOUSSAIN et al., 2002; KVEDARAS et al., 2009; NERI et al., 2009). Portanto, a aplicação de silício na cultura de milho poderá elevar o grau de resistência das plantas e, conseqüentemente, reduzir a infestação e os prejuízos causados por *S. frugiperda*.

Com isso, o objetivo nesta pesquisa foi avaliar o efeito do milho *Bt*, expressando diferentes toxinas Cry 1A(b) e Cry 1F associado à aplicação de silício, em algumas variáveis biológicas de *S. frugiperda*, a preferência alimentar das lagartas e os danos causados pelo inseto-praga nas plantas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cultura do milho

O milho, *Zea mays* L., é produzido em quase todos os continentes, sendo sua importância econômica caracterizada pelas diversas formas de utilização, que vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis. Cerca de 70% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, podendo este percentual chegar a 85% em países desenvolvidos (DUARTE, 2010).

O uso do milho em grão na alimentação humana, apesar de não ter uma participação muito grande, caracterizado principalmente por seus derivados, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões com baixa renda. Em algumas situações, o milho constitui a ração diária de alimentação, como ocorre no Nordeste do Brasil, em que o milho é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem no semiárido. Outro exemplo está na população mexicana, para a qual o milho é o ingrediente básico para sua dieta alimentar (DUARTE, 2010).

O levantamento de intenção de plantio para a safra 2010/2011 aponta que a lavoura de milho de verão deverá ocupar 7,1 milhões de hectares, retração de 17% sobre 2009/2010. Devido à redução na área de plantio, o mercado desse grão deve entrar em equilíbrio, contudo, o consumo previsto, principalmente no setor de proteína animal, é de 47 milhões de toneladas, ou seja, 18 milhões de toneladas a mais que a produção nacional. Assim, fica claro que a produção da safrinha será essencial (AGRIANUAL, 2011).

Por outro lado, a recuperação da produtividade deverá mais do que compensar a queda referente à área plantada. É previsto um aumento no rendimento médio de 22% na produtividade devido a três fatores: adoção crescente de variedades transgênicas mais produtivas, aumento da participação

das áreas mais tradicionais dentro da área total e ausência de problemas climáticos extremos, como o excesso de chuva e de calor. No total, projeta-se que a soma das duas safras (safra verão e safrinha) de milho em 2010/2011 seja de 49,7 milhões de toneladas (AGRIANUAL, 2011).

## **2.2 A lagarta-do-cartucho do milho**

A lagarta-do-cartucho do milho, também conhecida pelo nome de lagarta dos milharais, ocorre em mais de 100 espécies de hospedeiros, é uma espécie polífaga, e uma das principais pragas da cultura do milho no Brasil. Essa praga encontra-se distribuída em todas as regiões onde se cultiva esse cereal (CRUZ et al., 1996).

É considerada uma das principais pragas da cultura do milho por atacar a planta durante todo o seu ciclo. As perdas na produção causada pelo inseto-praga podem variar de 17 a 50 % dependendo da cultivar e do estágio fenológico da planta, sendo mais sensível entre os estádios de 8 a 10 folhas completamente formadas (FERNANDES, 2003).

As lagartas apresentam hábito alimentar mastigador. Logo quando eclodem começam a raspar as folhas e à medida que vão se desenvolvendo passam a perfurá-las. As lagartas também penetram no colmo através do cartucho, o que prejudica o desenvolvimento da planta, causando o sintoma conhecido como coração morto. Essa espécie também ataca as espigas ocasionando em má formação ou até mesmo a não formação dos grãos. Ocorrem também danos indiretos causados pelo ataque deste inseto, pois através da sua penetração deixam orifícios que são porta de entrada de fungos e bactérias, agentes estes causadores várias doenças, diminuindo o potencial de produção e a qualidade dos grãos (CRUZ, 1995; GALLO et al., 2002).

As fêmeas adultas podem ovipositar cerca de 300 ovos por postura, formando uma massa de ovos sobrepostos entre si. A postura dos ovos pelas fêmeas pode ser feita tanto durante o dia como à noite. O período de incubação dos ovos varia de acordo com as condições de temperatura. Nos meses de inverno, esse período dura três dias. O período larval dura em média de 18-20 dias, período em que a lagarta se alimenta basicamente das folhas mais tenras. A larva completamente desenvolvida migra da planta para o solo penetrando de 2 a 2,5 centímetros de profundidade, onde se transforma em pupa para se proteger, o período pupal dura de 8 a 25 dias. Todas as fases da vida da lagarta são influenciadas por fatores climáticos, podendo estes encurtar ou prolongar determinadas fases (CRUZ, 1995; GALLO et al., 2002).

O controle da lagarta-do-cartucho deve ser feito com o emprego de várias práticas integradas de manejo, começando com o monitoramento de pragas da cultura anterior, isto é, fazer o histórico da área; rotação de culturas que não sejam hospedeiras da praga; inimigos naturais; aplicação de inseticidas na dosagem e época correta. A aplicação de inseticidas se torna mais eficiente após um monitoramento correto da lavoura e a aplicação de inseticidas com registrados no MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento). Também se pode recomendar, em algumas situações, o tratamento das sementes, já que a praga pode atacar as plântulas e estar presente na área dependendo da cultura implantada anteriormente.

### **2.3 Milho *Bt***

O século XX foi caracterizado por grandes descobertas que tiveram profundo impacto no melhoramento genético de plantas. Há muitos anos, as plantas cultivadas têm sido manipuladas geneticamente pelo homem, por meio do melhoramento clássico. Atualmente, o melhoramento de plantas pode

recorrer às técnicas da engenharia genética. Entre as estratégias de plantas geneticamente modificadas resistente a insetos, a mais utilizada é a transgenia com *B. thuringiensis* (*Bt*) (CAROZZI; KOZIEL, 1997).

O milho *Bt* é uma planta modificada geneticamente contendo o gene da bactéria *Bacillus thuringiensis*, que produz uma proteína tóxica que acumula e forma cristais no interior da larva de alguns insetos quando ingerida, podendo causar a sua morte e reduzir os ataques na planta em até 90% (MENDES et al., 2008).

Os programas de clonagem e transformação de plantas de institutos de pesquisa e empresas atualmente são bastante intensos, gerando novidades a cada ano. Especificamente, para resistência a pragas na cultura do milho, há mais de uma dezena de eventos. Alguns já estão praticamente descartados no milho como, por exemplo, o Cry 1Ac e Cry 9C. Entre os que estão sendo comercializados, destacam-se os eventos que expressam as toxinas Cry 1A(b) e Cry 1F, com atividade sobre os lepidópteros, e que o Cry 3Bb1, para o controle de coleópteros (larvas de *Diabrotica* spp.) (CARNEIRO et al., 2009).

O cultivo e comercialização do milho *Bt* já está sendo utilizado há mais de 10 anos nos Estados Unidos, Canadá e Argentina. Antes de ser liberada nesses países, essa tecnologia passou por vários anos de estudos relacionados a seguranças, estudos esses feitos com base em protocolos elaborados por instituições internacionais como a OMS (Organização Mundial de Saúde) e a FAO (Food and Agriculture Organization). São feitas avaliações da planta em vários estágios, desde o início de desenvolvimento da planta no laboratório, passando por fase experimental em campo até a conclusão dos trabalhos (LOPES, 2010).

Percebe-se, então, que o produto só é colocado no mercado depois de feitas todas as análises necessárias, e constatado que é um alimento seguro. No Brasil, a liberação para cultivo comercial do milho *Bt* pelo Ministério da

Agricultura, Pecuária e Abastecimento só foi concedida após cerca de 10 anos de testes em laboratório e a campo por pesquisadores de empresas privadas e particulares, de acordo com normas técnicas estabelecidas pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). Essa liberação ocorreu na safra de 2008/2009, porém muitos produtores ainda tinham dúvida dos resultados dessa tecnologia (MENDES et al., 2008).

A elevação da produtividade, o melhor combate de pragas e aumento da oferta de variedades são alguns dos fatores que estimulam a adoção da tecnologia. Segundo Associação Brasileira de Sementes e Mudas – ABRASEM (2010), a aplicação de sementes geneticamente modificadas de milho deve crescer 20% na safra 2011/2012, já no atual ciclo 2010/2011 foram cultivados 7,37 milhões de hectares com transgênicos (safras verão e inverno), ou 57,2% do total do País, que chegou a 12,88 milhões de hectares (CÉLERES, 2011). Na área de milho safrinha, o uso da tecnologia disparou. Em apenas três anos a participação dos transgênicos chegou a 75,4%, número próximo aos 76,2% de área semeada na soja em dez anos de uso no Brasil.

No Brasil, estão liberados para comercialização dois eventos expressando a toxina do *Bt* Cry 1A(b), um evento expressando a toxina Cry 1F, um evento expressando a toxina Vip3aa e um evento expressando duas toxinas Cry 1A.105 e Cry2Ab2 com atividade sobre os lepidópteros. Estes eventos estão registrados para três espécies: a lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae); a lagarta-da-espiga do milho, *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae) e a broca-da-cana-de-acúcar, *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae). Entretanto, existem dados na literatura indicando também a atividade dessas toxinas sobre a lagarta-elasma, *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller, 1848) (Lepidoptera: Pyralidae). Indicações oriundas de usuários de campo relatam a atividade das toxinas do *Bt* também sobre a lagarta-militar,

*Mocis latipes* (Guenée, 1852) (Lepidoptera: Noctuidae). Portanto, os eventos hoje disponíveis no Brasil oferecem proteção contra as principais espécies de lepidópteros-praga do milho (CARNEIRO et al., 2009; MENDES et al., 2009).

#### **2.4 O silício**

O silício (Si) é absorvido pelas raízes das plantas como ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) de forma passiva (JONES; HANDRECK, 1967). A maior parte do Si absorvido é translocada das raízes para as folhas e, com a saída da água pela transpiração, polimeriza-se na parte externa da parede celular (principalmente nas células da epiderme), transformando-se em um mineral amorfo de sílica denominado opala biogênica ( $SiO_2.nH_2O$ ) (LANNING; PONNAIYA; CRUMPTON, 1958).

O silício, possivelmente, afeta o crescimento e o desenvolvimento de muitas plantas, mais particularmente pela contribuição da força mecânica nas paredes das células e sua função de manter as plantas e folhas eretas numa posição que melhor intercepta a luz solar, proporcionando, assim, um maior peso seco por unidade de área da folha e um aumento nos pesos secos e frescos das raízes. O silício frequentemente alivia e algumas vezes anulam os efeitos adversos do excesso de fósforo (P), metais pesados e da salinidade. A impregnação das paredes celulares com sílica contribui para a resistência das plantas contra o ataque de fungos e de pragas (BARBOSA FILHO et al., 2000; EPSTEIN, 1994).

Segundo Silva e Bohnen (2003), não há um consenso na literatura a respeito da essencialidade do silício como nutriente para as culturas. Solos tropicais e subtropicais intemperizados e lixiviados, com sucessivos cultivos, tendem a apresentar baixos níveis de Si trocáveis, havendo, assim, a necessidade

de reposição desse fertilizante por meio de adubações (LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999).

O efeito da proteção mecânica do silício nas plantas é atribuído ao seu depósito na forma de sílica amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) na parede celular. O acúmulo de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma camada dupla de sílica cuticular, que pela diminuição da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004). A silificação da epiderme impede a penetração e a mastigação pelos insetos devido ao endurecimento da parede das células vegetais (DATNOFF; SNYDER; KORNDORFER, 2001).

O conteúdo de silício nas plantas varia de 0,1% a 10% em base seca, concentrando-se nos tecidos de suporte do caule e das folhas, mas também pode ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos. Sendo assim, as plantas podem ser classificadas como acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras de Si, e serem avaliadas de acordo com a relação molar Si:Ca encontrada nos tecidos. Nas relações acima de 1,0, as plantas são consideradas acumuladoras; entre 1,0 e 0,5, são consideradas intermediárias, e menor do que 0,5, não acumuladoras (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001).

Nas plantas acumuladoras, com teor bastante elevado de Si, a absorção está ligada à respiração aeróbia, sendo representantes desse grupo: milho, arroz, cana de açúcar, trigo, sorgo e as gramíneas em geral. Plantas intermediárias, como as cucurbitáceas e a soja, apresentam uma quantidade considerável de Si translocado livremente das raízes para a parte aérea, quando a concentração do elemento já é alta no meio. Já as plantas não acumuladoras são caracterizadas por um baixo teor de silício, mesmo com altos níveis desse elemento no meio, existindo um provável mecanismo de exclusão. O morangueiro, o tomateiro, o cafeeiro e as dicotiledôneas em geral são plantas que representam esse grupo (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004).

A proteção de plantas ao ataque de insetos conferida pelo silício pode ser tanto para insetos sugadores, por exemplo, os pulgões (CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999; MORAES et al., 2005), como para os insetos mastigadores.

Para as lagartas, importantes desfolhadores, Goussain et al. (2002) verificaram maior mortalidade e canibalismo de *S. frugiperda* ao final do segundo ínstar, quando alimentadas com folhas de plantas de milho tratadas com silicato de sódio. Também foi observado um desgaste acentuado na região incisora das mandíbulas das lagartas, devido à ação da barreira mecânica proporcionada pela deposição de silício na parede celular das folhas tratadas. Contudo, em cana de açúcar, embora tenha havido uma tendência para o desgaste maior das mandíbulas de lagartas da broca-do-colmo *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) que se desenvolveram em plantas tratadas com silício, tal efeito não foi significativo para Si ou cultivar (KVEDARAS et al., 2009).

Para o gafanhoto, Massey, Roland Ennos e Hartley (2007) demonstraram que as concentrações de sílica em uma gramínea (*Festuca ovina*) e em uma leguminosa (*Lolium perenne*) foram aumentadas e altamente significativas nos tratamentos nos quais as plantas sofreram injúrias repetidas durante um determinado período (seis vezes no total) por gafanhoto e por um tipo de rato. Dessa forma, pode-se concluir que plantas submetidas a desfolhas por insetos mastigadores podem induzir uma barreira mecânica de proteção, acumulando maiores concentrações de sílica nos tecidos foliares.

Também para coleópteros já foi observado os efeitos positivos do silício. Em batata inglesa, a campo, pulverizada com silício na forma de ácido silícico e terra diatomácea, foi possível verificar que não houve diferença significativa entre os tratamentos em relação à presença de coleópteros desfolhadores, principalmente *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae), e

coccinélideos predadores na parte aérea das plantas. Contudo, plantas tratadas com silício ou terra diatomácea foram menos preferidas para alimentação pelos desfolhadores adultos, refletindo em redução de injúrias nos tubérculos. Assim, a adoção de tais produtos pode contribuir para o manejo de insetos-praga em batateira, aumentando a proteção das plantas ao ataque dos coleópteros e, ainda, possibilitar melhorias ao agroecossistema e alimentos mais saudáveis aos consumidores (ASSIS, 2010).

O silício era encarado como a barreira mecânica passiva de defesa da planta contra o estresse ambiental (EPSTEIN, 1994). Porém, Fawer et al. (1998) identificaram uma proteção ativa induzida por este elemento dentro das células vegetais, demonstrando que o Si começa uma sequência de reações que iniciam mecanismos de defesas bioquímicas na planta infectada. Em trigo, Gomes et al. (2005) observaram que o silício e a infestação inicial com pulgões afetaram a preferência e a taxa de crescimento populacional de *S. graminum* e proporcionaram um aumento na atividade das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase, que indica a síntese de compostos de defesa da planta.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Aspectos biológicos de *S. frugiperda* em folhas de milho *Bt* [Cry 1A(b) e Cry 1F] e o isogênico não *Bt*, com e sem a aplicação de silício

O bioensaio foi conduzido no Laboratório de Ecotoxicologia e Manejo de Insetos da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas (MG), em ambiente climatizado com temperatura de  $25\pm 2$  °C, UR  $70\pm 10$  e fotofase de 12 horas. Para o ensaio foram utilizados híbridos de milho expressando diferentes toxinas: Cry 1A(b), correspondente ao híbrido transgênico 30F35YG (MON 810 ou YieldGard - Monsanto); Cry 1F que corresponde ao também híbrido transgênico 30F35HX (Herculex - Dow Agrosience) e o isogênico não *Bt* 30F35.

Foram avaliadas as variáveis biológicas de sobrevivência e desenvolvimento da lagarta-do-cartucho, nos seguintes tratamentos: T1) milho não *Bt*; T2) milho não *Bt* + Silício; T3) milho *Bt* Cry 1A(b); T4) milho *Bt* Cry 1A(b) + Silício; T5) milho *Bt* Cry 1F; e T6) milho *Bt* Cry 1F + Silício. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação, sendo que o silício foi aplicado na forma de solução aquosa de ácido silícico a 1%, sobre o solo ao redor das plantas, na dosagem de litro da solução por vaso (dosagem equivalente a  $1.100 \text{ Kg de SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ), após dez dias da sua emergência. Nos tratamentos sem silício foi aplicado um litro de água por vaso.

Após sete dias da aplicação do silício, as folhas (estágio V5 a V8) foram destacadas das plantas, lavadas, agrupadas em unidades de oito e cortadas em área correspondente a  $50 \text{ cm}^2$ . Lagartas recém-eclodidas, obtidas de criação de manutenção em laboratório, foram colocadas em copos plásticos com capacidade de 50 ml e tampas acrílicas transparente com folhas proveniente de cada um dos tratamentos avaliados de acordo com metodologia utilizada por Sá et al. (2009). Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado.

Foram avaliadas as seguintes variáveis: **a) Sobrevivência larval** - foram confinadas cinco lagartas recém-eclodidas por copo, para cada tratamento, com 48 repetições, totalizando 240 insetos/tratamento. O número de insetos vivos e mortos foi anotado 48 horas após a infestação. Após essa avaliação, as lagartas foram individualizadas, para evitar o canibalismo, e determinada a sobrevivência larval até a fase de pupa. O substrato alimentar foi trocado a cada dois dias; **b) Desenvolvimento larval** - as avaliações de todo o período de desenvolvimento das lagartas foram realizadas em intervalos de 48 horas. Após 14 dias, avaliou-se a biomassa (mg) das lagartas sobreviventes em balança de precisão (0,1 mg), porém foram considerados no cálculo apenas os valores daquelas lagartas que atingiram a fase de pupa; **c) Desenvolvimento de pupas** - A biomassa das pupas foi determinada no máximo após 24 horas. A duração de fase de pupa foi determinada apenas para aquelas nas quais ocorreu emergência de adultos.

### 3.2 Preferência de lagartas em teste de livre escolha

Em casa de vegetação foram semeadas seis sementes de milho híbrido não *Bt* e seu isogênico *Bt* com a toxina Cry 1A(b), em vasos com 2 kg de substrato composto de terra, adubado com 50g de adubo do formulado NPK 08-28-16 e -0,3% de Zinco por 100 kg de solo, neste caso não foi testado o híbrido *Bt* Cry 1F, devido à grande mortalidade observada no ensaio anterior. Decorridos 10 dias da emergência das plantas, foram aplicados os tratamentos, com 16 repetições. Os tratamentos consistiram em: T1) milho não *Bt* + 200 ml de água; T2) milho não *Bt* + 200 ml de solução de ácido silícico a 1%; T3) milho *Bt* Cry 1A(b) + 200 ml de água; T4) milho Cry 1A(b) + 200 ml de solução de ácido silícico a 1%. A solução de ácido silícico foi aplicada no solo, ao redor das plantas de cada vaso.

Para o teste de preferência, as folhas foram destacadas e, no laboratório, lavadas em água corrente e imersas em solução de hipoclorito a 1% por cinco minutos. Depois de secas, foram dispostas equidistantes em placa de Petri de 20 cm de diâmetro. Para diferenciar os tratamentos as seções foliares foram cortadas em diferentes formatos, isto é, retangulares (3x6,8 cm e 4x5,2 cm), quadradas e circulares. Imediatamente, foram infestadas com 10 lagartas recém-eclodidas, no centro da placa, a qual foi vedada com filme de PVC. As placas foram escurecidas com papel jornal, para evitar o efeito do fototropismo, e mantidas em salas climatizadas regulada a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , UR de  $70 \pm 10\%$ . O número de lagartas sobre as folhas de cada tratamento foi registrado após 24h da liberação de acordo com a metodologia adotada por Mendes et al. (2009). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com 40 repetições.

### **3.3 Avaliação de alguns aspectos biológicos e do dano causado pela infestação de *S. frugiperda* em plantas de milho**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de março a abril de 2010, com os híbridos de milho expressando a toxina Cry 1A(b), Cry 1F e o respectivo isogênico não *Bt*. Foram semeadas seis sementes por vaso e, após o desbaste aos 10 dias, deixadas quatro plantas por vaso de 18 Kg, contendo substrato composto de terra, adubado com 50g de NPK 08-28-16 e 0,3% de Zinco por 100 kg de solo. Dez dias após a emergência das plantas realizou-se a aplicação de ácido silícico, sendo que o silício foi aplicado na forma de solução aquosa de ácido silícico a 1%, sobre o solo ao redor das plantas, na dosagem de litro da solução por vaso (dosagem equivalente a 1.100 Kg de  $\text{SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ), e após mais cinco dias infestou-se cada planta com cinco lagartas recém-eclodidas. Adotou-se o delineamento inteiramente ao acaso, com

seis tratamentos e 12 repetições, sendo os seguintes tratamentos: T1) milho não *Bt*; T2) milho não *Bt* + Silício; T3) milho *Bt* Cry 1A(b); T4) milho *Bt* Cry 1A(b) + Silício; T5) milho *Bt* Cry 1F; T6) milho *Bt* Cry 1F + Silício. O silício foi aplicado na forma de solução aquosa de ácido silícico a 1%, sobre o solo ao redor das plantas, na dosagem de um litro da solução por vaso (equivalente a 1.100 Kg de SiO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>). Nos tratamentos sem silício foi aplicado um litro de água por vaso.

As avaliações de danos foram realizadas aos 7, 14 e 21 dias após a infestação utilizando-se uma escala de notas de 0 a 5 (de acordo com a metodologia adotada por CARVALHO, 1970 e MENDES et al., 2008 ), observando o cartucho da planta e considerando apenas as seis folhas centrais. A nota zero corresponde a plantas sem dano; nota um a plantas com folhas raspadas; nota 2 às plantas com folhas furadas; nota 3 às plantas com lesão nas folhas e no cartucho; nota 4 às plantas com o cartucho destruído e nota 5 às plantas com muitas folhas e cartucho totalmente destruído.

Quatorze dias após a infestação, foram selecionados seis vasos por tratamento para avaliação do número de lagartas vivas e sua biomassa (mg). Para tanto, as plantas foram cortadas, levadas para laboratório, as lagartas individualizadas em copos plásticos de 50 ml devidamente identificados. Após 21 dias da infestação, em outros seis vasos as plantas foram cortadas e as pupas coletadas e colocadas em copos plásticos de 50 ml para determinação do número e da biomassa.

### **3.4 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Aspectos biológicos de *S. frugiperda* em folhas de milho *Bt* [Cry 1A(b) e Cry 1F] e o isogênico não *Bt*, com e sem a aplicação de silício

Verificaram-se diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) para a sobrevivência 48 horas, sobrevivência total, período de desenvolvimento e biomassa de lagartas nas plantas de milho dos diferentes tratamentos (Tabela 1).

A sobrevivência de lagartas 48 horas após a eclosão em folhas de milho que expressam a toxina Cry 1A(b) apresentou diferenças significativas quando comparada com o milho expressando Cry 1F, que se mostrou mais eficaz no controle da lagarta, com mais de 70% de mortalidade. A sobrevivência ao final da fase larval foi nula no milho Cry 1F, baixa no milho *Bt* Cry 1A(b) com silício (25%), intermediária (cerca de 40%) nas plantas não *Bt* com silício e *Bt* Cry 1A(b) em relação ao milho não *Bt* sem silício (controle) que foi de mais de 80%. Esse resultado é similar ao de Mendes et al. (2009) que verificaram alta mortalidade de lagartas em milho expressando Cry 1 A(b) durante todo o período de desenvolvimento do inseto.

Em híbridos expressando a toxina Cry 1F, as larvas não conseguiram completar o período de desenvolvimento. Esses resultados evidenciam o efeito diferenciado das toxinas *Bt*'s avaliadas, sendo que ambas alteram os aspectos biológicos de *S. frugiperda*.

Tabela 1 Sobrevivência larval (%) após 48h (SL), Sobrevivência total (%) (ST), período de desenvolvimento (PD) e biomassa de lagartas após 14 dias (BL) ( $m \pm EP$ ) de *S. frugiperda* nos diferentes tratamentos

<b>Tratamento</b>	<b>SL</b>	<b>ST</b>	<b>PD</b>	<b>BL</b>
Milho não <i>Bt</i>	85,0 $\pm$ 3,29 ab	83,3 $\pm$ 0,5 a	19,0 $\pm$ 2,49 a	72,5 $\pm$ 0,00 a
Milho não <i>Bt</i> + Si	85,8 $\pm$ 3,00 a	41,7 $\pm$ 1,5 b	15,3 $\pm$ 3,22 ab	55,3 $\pm$ 0,00 ab
Milho <i>Bt</i> Cry 1A(b)	68,3 $\pm$ 3,70 b	41,7 $\pm$ 1,5 b	16,2 $\pm$ 1,97 a	59,2 $\pm$ 0,00 ab
Milho <i>Bt</i> Cry 1A(b) + Si	79,2 $\pm$ 4,64 ab	25,0 $\pm$ 0,0 c	16,0 $\pm$ 1,89 a	33,4 $\pm$ 0,00 bc
Milho <i>Bt</i> Cry 1F	21,7 $\pm$ 4,49 c	-	-	-
Milho <i>Bt</i> Cry 1F + Si	21,7 $\pm$ 5,50 c	-	-	-
CV (%)	25,90	12,85	15,39	18,51

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

Quando se determinou a biomassa de lagartas (14 dias), constatou-se que as alimentadas com milho *Bt* Cry 1A(b) não tiveram sua biomassa alterada quando comparadas com as alimentadas com folhas de milho não *Bt*. A adição de silício foi um fator que contribuiu para a redução da biomassa dos insetos, pois lagartas alimentadas em folhas de milho Cry 1 A(b) e silício apresentaram menor biomassa que as demais. Já as lagartas mantidas em folhas de milho Cry 1F, não sobreviveram até os 14 dias (Tabela 1). Esses resultados são contrários aos observados por Mendes et al. (2009), cujas lagartas sobreviventes apresentaram menor acúmulo de biomassa quando alimentadas com milho *Bt*, o que pode reduzir sua competitividade no ambiente.

Já a aplicação de silício afetou negativamente os parâmetros biológicos avaliados, tanto para as lagartas alimentadas com folhas de milho não *Bt*, como para aquelas alimentadas com folhas expressando a toxina Cry 1A(b), que exibiram moderada resistência a lagarta-do-cartucho. O silício pode induzir as plantas a formar uma barreira mecânica que dificulta à alimentação das lagartas (GOUSSAIN et al., 2002) e este fato, nesta pesquisa, pode ter sido um fator de defesa complementar das plantas. Para outros insetos mastigadores também já foram constatadas a formação desse tipo de defesa mecânica observada nesta pesquisa, como para gafanhoto em gramínea (MASSEY; ROLAND ENNOS; HARTLEY, 2007) e para coleópteros em batateira (SILVA; MORAES; MELO, 2010).

#### **4.2 Preferência de lagartas em teste de livre escolha**

Observou-se diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) na preferência das lagartas após 24 horas da liberação (Tabela 2). O maior número de lagartas foi encontrado nas seções foliares oriundas do milho não *Bt* sem aplicação de silício e o menor número no milho *Bt* com aplicação de silício. Pode-se observar, ainda, que a aplicação de silício reduziu a preferência das lagartas no milho *Bt* e no não *Bt*, sendo que neste último o comportamento da lagarta foi similar ao daquele que contém a toxina Cry 1A(b).

Assim, pode inferir que as lagartas conseguem distinguir tanto a toxina Cry 1A(b) quanto a barreira induzida pelo silício nas folhas de milho, não as preferindo para alimentação, assim como o observado por Busato et al. (2004) que encontraram menor preferência e consumo de *S. frugiperda* em plantas de arroz em razão de altos teores de sílica.

Já a não preferência para alimentação devido a presença da toxina Cry 1A(b) na folha do milho, concorda com dados obtidos por Costa et al. (2009),

indicando que além da atividade tóxica, a proteína *Bt* exerce ação de deterrência alimentar.

Tabela 2 Número de lagartas (m±EP) de *Spodoptera frugiperda* em seção foliar de milho nos diferentes tratamentos em teste de livre escolha

Tratamento	Número de lagartas
Milho não <i>Bt</i>	4,2±0,59 a
Milho não <i>Bt</i> + Si	1,5±0,34 bc
Milho <i>Bt</i> Cry 1A(b)	1,9±0,44 b
Milho <i>Bt</i> Cry 1A(b) + Si	0,5±0,18 c
CV (%)	36,36

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

#### 4.3 Avaliação de alguns aspectos biológicos e do dano causado pela infestação de *S. frugiperda* em plantas de milho

Todos os parâmetros avaliados com relação aos danos provocados por *S. frugiperda* apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos.

No milho *Bt* expressando a toxina Cry 1F não foram observadas lagartas ou pupas, isto é, houve 100% de mortalidade das lagartas liberadas nas plantas. Já no milho não *Bt* e no *Bt* Cry 1 A(b) sem a adição de silício, verificaram-se o maior número de lagartas (Tabela 3). Também se pode observar que o tratamento milho *Bt* Cry 1A(b) + silício apresentou uma resistência intermediária ou moderada, principalmente em relação à biomassa de lagartas e

de pupas e número de pupas. Fato semelhante foi observado por de Sá et al. (2009) em hospedeiros menos adequados para o desenvolvimento da lagarta-do-cartucho quando as pupas apresentaram menor biomassa, indicando que hospedeiros não apropriados comprometem o desenvolvimento desse inseto-praga. A medida da biomassa de pupa é importante, pois segundo Penco e Martin (1982) há uma correlação direta entre, a biomassa de pupas de *S. frugiperda* e a fecundidade dos indivíduos.

Portanto, a aplicação de silício causou uma redução tanto no número como na biomassa de lagartas e de pupas, tanto no milho *Bt* Cry 1A(b) como no seu isogênico não *Bt*, exceto para número de pupas, indicando a interação positiva das duas táticas de MIP. Também é interessante observar que quanto menor a biomassa de lagartas e de pupas, maior é a suscetibilidade desses insetos aos agentes bióticos e abióticos de mortalidade.

Tabela 3 Número de lagartas aos 14 dias (NL) e de pupas aos 21 dias (NP) e biomassa (mg) de lagartas (BL) e de pupas (BP) (m±EP) de *Spodoptera frugiperda* nos diferentes tratamentos

<b>Tratamento</b>	<b>NL</b>	<b>BL</b>	<b>NP</b>	<b>BP</b>
Milho não <i>Bt</i>	26,5±0,00 a	430,5±4,87 a	22,5±0,00 a	256,5±8,02 a
Milho não <i>Bt</i> + Si	12,5±0,00 b	332,7±8,38 b	21,5±0,00 a	200,3±8,44 c
Milho <i>Bt</i> Cry 1A(b)	19,0±0,00 a	316,9±7,53 b	17,0±0,00 b	239,2±6,72 b
Milho <i>Bt</i> Cry 1A(b) + Si	9,0±0,00 b	183,1±1,01 c	6,5±0,00 c	234,4±6,75 b
Milho <i>Bt</i> Cry 1F	0±0,00 c	-	-	-
Milho <i>Bt</i> Cry 1F + Si	0±0,00 c	-	-	-
CV (%)	34,11	21,73	32,93	20,44

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

Por outro lado, as notas atribuídas aos danos devido à alimentação da *S. frugiperda* nos diferentes tratamentos também foram significativas ( $p \leq 0,05$ ) após os 14 dias da infestação (Tabela 4).

O tratamento com plantas de milho expressando a toxina Cry 1F se mostrou mais eficiente, sendo considerado altamente resistente a lagarta-do-cartucho. Contudo, no evento com plantas expressando a proteína Cry 1A(b) a resistência apresentada foi moderada, porém com a aplicação de silício a nota de dano foi significativamente menor, isto é, a soma das defesas representadas pela toxina do milho *Bt* aliada à barreira mecânica formada pela deposição de sílica nas folhas (DATNOFF; SNYDER; KORNDORFER, 2001) tornaram as plantas mais resistentes. O aumento do grau de resistência com a aplicação de silício também foi observado para o milho não *Bt* após 21 dias da infestação com lagartas, essa redução no dano causado por *S. frugiperda*, possivelmente, pode estar relacionada ao desgaste da região incisora das mandíbulas das lagartas quando alimentadas com gramíneas tratadas com silício (GOUSSAIN et al., 2002; KVEDARAS et al., 2009), o que dificulta a sua alimentação.

De uma maneira geral, considerando os resultados dos parâmetros relacionados aos aspectos biológicos, preferência e danos de *S. frugiperda*, conclui-se que o milho Cry 1F pode ser classificado como altamente resistente a lagarta e o milho Cry 1A(b) apresenta resistência moderada. Já a aplicação de silício tem efeito benéfico tanto no milho *Bt* Cry 1A(b) como no milho não *Bt*, elevando o grau de resistência, respectivamente, para altamente e moderadamente resistente a *S. frugiperda*.

A combinação das duas barreiras de defesa da planta de milho a *S. frugiperda*, química representada pelo *Bt* e mecânica devido ao silício, também pode contribuir para evitar o desenvolvimento de resistência das lagartas às toxinas em programas de manejo da resistência desse inseto-praga em cultura de

milho *Bt*. Entretanto, experimentos a campo ainda são necessários para a validação desses resultados.

Tabela 4 Nota de dano (m $\pm$ EP) causado pela alimentação de *Spodoptera frugiperda* nos diferentes tratamentos

Tratamentos	Nota 7 dias	Nota 14 dias	Nota 21 dias
Milho não <i>Bt</i>	1,8 $\pm$ 0,19 a	3,2 $\pm$ 0,20 a	4,0 $\pm$ 0,00 a
Milho não <i>Bt</i> + Si	1,6 $\pm$ 0,29 a	2,8 $\pm$ 0,13 a	2,8 $\pm$ 0,16 b
Milho <i>Bt</i> Cry 1A(b)	0,9 $\pm$ 0,08 b	1,6 $\pm$ 0,14 b	2,2 $\pm$ 0,18 c
Milho <i>Bt</i> Cry 1A(b) + Si	0,7 $\pm$ 0,13 b	1,2 $\pm$ 0,24 c	1,3 $\pm$ 0,25 d
Milho <i>Bt</i> Cry 1F	0,2 $\pm$ 0,16 c	0,2 $\pm$ 0,16 d	0,2 $\pm$ 0,16 e
Milho <i>Bt</i> Cry 1F + Si	0,0 $\pm$ 0,00 c	0,0 $\pm$ 0,00 d	0,0 $\pm$ 0,00 e
CV (%)	21,01	16,34	14,64

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

## 5 CONCLUSÃO

O milho Cry 1F apresenta alta resistência a *S. frugiperda*, enquanto que o Cry 1A(b) é moderadamente resistente;

A aplicação de silício tem efeito benéfico tanto no milho *Bt* Cry 1A(b) como no milho não *Bt*, elevando o grau de resistência, respectivamente, para altamente e moderadamente resistente a *S. frugiperda*.

## REFERÊNCIAS

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Agrianual**. Desempenho da produção de milho e soja no Brasil. São Paulo: FNP, 2011. 482 p.

ASSIS, F. A. **Indução de resistência em batata inglesa e seu efeito sobre coleópteros desfolhadores e predadores**. 2010. 59 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. ABRASEM. **Uso da biotecnologia garante US\$ 3,6 bilhões à agricultura brasileira, aponta novo estudo da ABRASEM**. São Paulo- 06 de abril de 2010.

Disponível em:

<<http://www.abrasem.com.br/downloads/materias/1295011345.pdf>>.

Acesso: 31 mar. 2011.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Importância do silício para cultura do arroz (uma revisão de literatura). **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 89, p. 1-8, mar. 2000. Encarte técnico.

BUSATO, G. R. et al. Preferência para alimentação de biótipos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) por milho, sorgo, arroz e capim-arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas – RS, v. 10, n. 2, p. 215-218, 2004.

CAPALBO, D.; FONTES, E. M. G. GMO Guidelines Project. **Algodão Bt**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Agosto 2004, p. 56, (Documento, 38).

CAPINERA, J. L. **Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae)**. 1999. Disponível em: <[http://www.floridacattleranch.org/ifas\\_fall\\_armyworm.pdf](http://www.floridacattleranch.org/ifas_fall_armyworm.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2010.

CARNEIRO, A. A. et al. **Milho Bt**: teoria e prática da produção de plantas transgênicas resistentes a insetos-praga. Sete Lagoas – Mg, Embrapa milho e Sorgo, 2009. 26 p. (Circular técnica, 135).

CAROZZI, N.; KOZIEL, M. **Advances in insect control**. London: Taylor & Francis, 1997. 301p.

CARVALHO R. P. L. **Danos, flutuação populacional, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) e susceptibilidade de diferentes genótipos de milho em condições de campo**. 1970. 170 p. Tese (Doutorado em Entomologia)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1970.

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**, Piracicaba, v. 28, n. 3, p. 505-510, set. 1999.

CÉLERES. **Área de milho transgênico deve crescer 20%** - 30 de março de 2011, Disponível em: <<http://pratoslimpos.org.br/?tag=celeres>>. Acesso em: 02 abr. 2011.

COSTA, M. C. A. et al. Avaliação da não-preferência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) entre híbridos de milho *Bt* e não *Bt*. IX CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, **Anais...** São Lourenço, p. 1-3, Setembro, 2009.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; DaCOSTA, R. R. Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. **Journal of Applied Entomology**, v. 135, n. 1/2, p. 115-120, Feb. 2011.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; DaCOSTA, R. R. Interação silício-imidacloprid no comportamento biológico e alimentar de *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae) em plantas de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 455-460, mar./abr. 2009.

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 45 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular técnica, 21).

CRUZ, I. et al. Efeito do nível de saturação de alumínio em solo ácido sobre os danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) em milho. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Piracicaba, v. 25, n. 2, p. 293-297, ago. 1996.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. de L. C.; MATOSO, M. J. **Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitóide de ovos *trichogramma***. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1999. (Circular técnica, 30).

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 403 p.

DUARTE, J. de O. **Importância econômica do milho**. 2010. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/importancia.htm#topo>>. Acesso: 25 jul. 2010.

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

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

ETGES, H. Pioneer Responde: **Milho Bt: Híbridos Pioneer® com o gene YieldGard®**. 2010. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/ProdutosBiotecnologiaMilhoBt>>. Acesso em: 05 maio 2010.

FAWER, A. et al. Silicon mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in Cucumber. **Phytopathology**, St. Paul, v. 88, n. 5, p. 396-401, May 1998.

FERNANDES, O. D. **Efeito do milho geneticamente modificada (MON810) em *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) e no parasitóide de ovos *Trichogramma spp***. 2003. 182 p. Tese (Doutorado em Entomologia) –Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

GALLO, D. et al. **Manual de entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids.

**Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, nov./dez. 2005.

GOUSSAIN, N. M. et al. 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, n. 2, p. 305-310, bar/jun. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **2009, safra de grãos deve atingir 136,4 milhões de toneladas**. 2009. Disponível em: <[http://www1.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1568&id\\_pagina=1](http://www1.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1568&id_pagina=1)>. Acesso em: 05 de Maio 2010.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.107-149, 1967.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004. (Boletim técnico, 01).

KVEDARAS, O. L. et al. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 11, p. 301-306, Apr. 2009.

LANNING, F. C.; PONNAIYA, B. W. X.; CRUMPTON, C. F. The chemical nature of silica in plants. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 33, p. 339-343, 1958.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informe Agrônomo**, Piracicaba, v. 87, p. 1-7, 1999. Encarte técnico.

LOPES, M. E. **O Milho Bt é um grande aliado no combate à Lagarta do cartucho que causa perdas de 17 a 50% na produção. Saiba mais sobre essa tecnologia**: "o uso do Milho Bt no combate à Lagarta do cartucho. ReHAgro, 2010. Disponível em: <<http://www.rehagro.com.br/siterehagro/publicacao.do?cdnoticia=2067>>. Acesso em: 01/04/2011.

LOURENÇÃO, A. L. F.; BARROS, R.; MELO, E. P. de. Milho *Bt*: uso correto da tecnologia. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção**: milho safrinha e culturas de inverno 2009. 2009. Disponível em: <<http://www.fundacaoms.org.br/request.php?113>>. Acesso em: 31 jan. 2010.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATINOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. chap. 2, p. 17-39.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plants Science**, Oxford, v. 11, n. 8, p. 392-397, Aug. 2006.

MASSEY, F.; ROLAND ENNOS, A.; HARTLEY, S. Herbivore specific induction of silica-based plant defences. **Oecologia**, v. 152, n. 4, p. 677-683, July 2007.

MENDES, S. M. et al. **Milho *Bt*: avaliação preliminar da resistência de híbridos comerciais à lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797)**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2008. 8 p. (Comunicado técnico, 157).

MENDES, S. M. et al. Efeito da interação entre genótipos de milho e evento geneticamente modificado contendo a toxina Cry 1 A(b) nas variáveis biológicas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10., **Anais...** Rio Verde GO: , set. 2009. p. 368-374.

MORAES, J. C. et al. 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, n. 4, p. 761-766, jul./ago. 2005.

NERI, D. K. P. et al. Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1633-1638, jun./set. 2009.

PENCOE, N. L.; MARTIN, P. B. Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larval development adult fecundity on five grass hosts. **Environmental**

**Entomology**, College Park, v. 11, n. 3, p. 720-723, 1982.

RANGANATHAN, S. et al. Effects of silicon sources on its deposition, chlorophyll content, and disease and resistance in rice. **Biology Plantarum**, Copenhagen, v. 50, n. 4, p. 713-716, Apr. 2006.

SANTOS, M. L. et al. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Science**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 313-321, jul./set. 2006.

SÁ, V. G. M. et al. Sobrevivência e desenvolvimento larval de *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 38, n. 1, p. 108-115, jan./fev. 2009.

SILVA, L. S.; BOHNEN, H. Produtividade e absorção de nutrientes pelo arroz cultivado em solução nutritiva com diferentes níveis de silício e cálcio. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 1, p. 49-52, jan./mar. 2003.

SILVA, V. F.; MORAES, J. C.; MELO, B. A. Influence of silicon on the development, productivity and infestation by insect pests in potato crops. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1465-1469, Nov./Dec. 2010.

VIANA, P. A.; PRATES, H. T. Mortalidade de lagarta de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com folhas de milho tratadas com extrato aquoso de folhas de NIM *Azadirachta indica*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 03, p. 316-322, 2005.