



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**EFEITO DE SILÍCIO EM CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS,
COMPORTAMENTAIS E NA HISTÓRIA DE VIDA DA TRAÇA-DO-
TOMATEIRO *Tuta absoluta* (MEYRICK) (LEPIDOPTERA:
GELECHIIDAE)**

MARÍLIA CRISTINA DOS SANTOS

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

FEVEREIRO/2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**EFEITO DE SILÍCIO EM CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS,
COMPORTAMENTAIS E NA HISTÓRIA DE VIDA DA TRAÇA-DO-
TOMATEIRO *Tuta absoluta* (MEYRICK) (LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE)**

MARILIA CRISTINA DOS SANTOS

ORIENTADORA: ANA MARIA RESENDE JUNQUEIRA, PhD
CO-ORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO SERRÃO, D.Sc.

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 003/2012D

BRASÍLIA/DF
FEVEREIRO/2012

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**EFEITO DE SILÍCIO EM CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS,
COMPORTAMENTAIS E NA HISTÓRIA DE VIDA DA TRAÇA-DO-
TOMATEIRO *Tuta absoluta* (MEYRICK) (LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE)**

MARILIA CRISTINA DOS SANTOS

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA NA ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL, LINHA DE PESQUISA EM
PRODUÇÃO VEGETAL.**

APROVADA POR:

Ana Maria Resende Junqueira, Ph.D, Universidade de Brasília (UnB), CPF: 340.665.511-49
e-mail: anamaria@unb.br (Orientadora)

Marcus Alvarenga Soares, D.Sc., Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e
Mucuri (UFVJM), CPF: 050675896-63, e-mail: marcusasoares@yahoo.com.br
(Examinador Externo)

Veríssimo Gibran Mendes de Sá, D.Sc., Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG),
CPF: 059859826-02, e-mail: verisgibran@hotmail.com (Examinador Externo)

Cristina Schetino Bastos, D.Sc., Universidade de Brasília (UnB), CPF: 007.369.317-08,
e-mail: cschetino@unb.br (Examinadora Interna)

Jean Kleber de Abreu Mattos, D.Sc., Universidade de Brasília (UnB), CPF: 022.288.181-
68, e-mail: jeankleber@yahoo.com.br (Examinador Interno)

BRASÍLIA/DF, 27 de fevereiro de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Marília Cristina dos

Efeito de silício em características morfológicas, comportamentais e na história de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) / Marília Cristina dos Santos; orientação de Ana Maria Resende Junqueira. – Brasília, 2012.

85 p. ; il.

Tese de doutorado (D) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2012.

1. *Solanum lycopersicum* 2. *Tuta absoluta* 3. Silício 4. Morfologia Interna 5. Comportamento 6. Manejo Integrado de Pragas. I. Junqueira, A. M. R. II. Título. PhD.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, M.C. **Efeito de silício em características morfológicas, comportamentais e na história de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2012, 85 p. Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marília Cristina dos Santos

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Efeito de silício em características morfológicas, comportamentais e na história de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).

GRAU: Doutor ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Marília Cristina dos Santos

CPF: 044778516-85

Rua Jota Júnior, 28, Bairro Salgado Filho, CEP: 30550-760

Belo Horizonte / MG - Brasil

A Deus, inteligência suprema e causa primária de todas as coisas.
Aos meus pais, Luíza e Edison, com toda gratidão e amor, dedico este título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Edison Aloísio dos Santos e Luiza Marilac dos Santos, que sempre estiveram ao meu lado, incentivando e torcendo para que cada etapa fosse vencida.

À minha família: Márcia, Mônica, Marina, Mateus e Marco, pelo apoio.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade de realização do curso.

À Universidade de Brasília, principalmente, à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV).

À Universidade Federal de Viçosa.

À Professora Ana Maria Resende Junqueira, pela orientação, preocupação e, sobretudo, por perdoar minha ausência, concordando com a realização dos experimentos na UFV.

Ao Professor José Eduardo Serrão, pelos ensinamentos, paciência, correções e, o mais importante, por ter aceitado a co-orientação deste trabalho. Não tem ideia do bem que me fez.

Aos Professores José Cola Zanuncio, Marcelo Picanço e Tuneo Sedyiama.

Às empresas Unaprosil e Agronelli Insumos Agrícolas.

Ao Laboratório de Biologia Estrutural: Madu, Dihego e ao funcionário, Monteiro.

Ao Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV, em especial aos funcionários Gilmar, Patrícia e Carla.

Ao Deusdete, funcionário da secretaria da Pós-FAV/UnB.

Ao meu amigo de tantos anos Gibran, por ter me levado até Viçosa e à UFV. Muito obrigada pelo apoio na tese e na vida.

À Juliana e Priscilla, que mesmo distantes, nunca deixamos que nossa amizade ficasse no esquecimento.

À Márcia pelas traduções e correções.

À Lorene, pela ajuda nos trabalhos.

À Carla Arce, sempre disposta a me ensinar um pouquinho mais sobre nossa querida *Tuta absoluta*.

À Ritinha, mais que uma amiga. Companheira, parceira. Ela esteve por perto quando tudo parecia perdido, aguentando junto comigo meus tantos momentos de tristeza e fraqueza, sempre com palavras de incentivo quando o cansaço, os erros e as dificuldades insistiam em sobressair. Mas compartilhamos muito mais momentos felizes!

Ao Marcelo. Coração enorme! Pelas ajudas, independente da hora e do lugar; pelo tempo desprendido preocupado com todo tormento que me agoniava; por me fazer ter uma visão de futuro e planejá-lo na medida do possível; pelas lágrimas e pelos muitos sorrisos.

À Rita e Lidiane, minhas amigas viçosenses. Obrigada pelas conversas, saídas, almoços no Da Lua e risadas.

Às minhas amigas e companheiras de corrida, Angélica, Marisa e Dalana. Obrigada pelas conversas, cafés, conselhos e pelo incentivo sempre. Foram muitos quilômetros juntas!

À Fabi, pelo incentivo desde os primeiros quilômetros.

À Rutênia, Valéria e Romênia, pela atenção, cuidados e treinos.

Ao grupo de estudo do Centro Espírita Camilo Chaves em Viçosa.

A todos que torceram e colaboraram comigo.

Graças a Deus!

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT	xv
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVO GERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
CAPÍTULO I	18
EFEITO DO SILÍCIO EM ASPECTOS COMPORTAMENTAIS E NA HISTÓRIA DE VIDA DE <i>Tuta absoluta</i> (MEYRICK) (LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE)	18
RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	21
1 INTRODUÇÃO.....	23
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.1. Plantio, delineamento experimental e tratamentos	26
2.2 Efeito de Silício na Biologia de <i>T. absoluta</i>	27
2.3 Não-preferência para oviposição de <i>T. absoluta</i> em plantas de tomateiro tratadas com silício.....	28
2.4 Análise estatística.....	29
3 RESULTADOS	30
3.1 Efeito de Silício na Biologia de <i>T. absoluta</i>	30
3.2 Não-preferência para oviposição de <i>T. absoluta</i> em plantas de tomateiro tratadas com silício.....	31
4 DISCUSSÃO.....	32

5	CONCLUSÃO.....	36
6	AGRADECIMENTOS.....	37
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
	CAPÍTULO II.....	54
	EFEITO DO SILÍCIO SOBRE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE <i>Tuta absoluta</i> (MEYRICK) (LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE) DESENVOLVENDO-SE EM TOMATEIRO.	54
	RESUMO.....	55
	ABSTRACT.....	57
1	INTRODUÇÃO.....	59
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.1	Plantio, delineamento experimental e tratamentos.....	62
2.2	Liberação dos ovos de <i>T. absoluta</i>	63
2.3	Morfologia do intestino médio de <i>T. absoluta</i>	64
2.4	Morfologia das mandíbulas de <i>T. absoluta</i>	64
3	RESULTADOS.....	66
4	DISCUSSÃO.....	68
5	CONCLUSÃO.....	72
6	AGRADECIMENTOS.....	73
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1 Tratamentos utilizados para avaliar o efeito de silício sobre a morfologia do intestino médio e da mandíbula de <i>Tuta absoluta</i> (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).....	45
--	----

Capítulo II

Tabela 1. Tratamentos utilizados para avaliar o efeito de silício sobre a biologia e não-preferência para oviposição de <i>Tuta absoluta</i> (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).....	80
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1. Duração da fase larval (dias) (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 39

Figura 2. Duração da fase pupal (dias) (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 47

Figura 3. Sobrevivência da fase larval (%) (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 48

Figura 4. Sobrevivência da fase pupal (%) (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 49

Figura 5. Peso de pupas fêmea e macho (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 50

Figura 6. Número de ovos (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em testes com chance de escolha para oviposição, em função

dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (l ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 51

Figura 7. Número de ovos (média ± erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em testes sem chance de escolha para oviposição, em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (l ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 52

Capítulo II

Figuras 1-5. Seções transversais do intestino médio de lagartas de quarto estágio de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) alimentadas com plantas de tomate tratadas com compostos contendo silício. **1.** Epitélio do intestino médio de lagartas alimentadas com folhas de plantas expostas ao Agrosilício[®] foliar (T6 1,0 t ha⁻¹ de SiO₂) mostrando Células Digestivas (DC), Células Caliciformes (GC), Células Regenerativas (RC), Membrana Basal Descolada (BM), Borda Estriada bem desenvolvida (BB) e Corpos Apoptóticos (→), Luz (L), Núcleo (N). Barra = 20µm. **2.** Epitélio do intestino médio de lagartas alimentadas com folhas de plantas expostas ao Agrosilício[®] Foliar (T6 1,0 t ha⁻¹ de SiO₂), mostrando corpos apoptóticos basofílicos (→), Células Caliciformes (GC), Luz (L), Borda Estriada bem desenvolvida (BB), Células Digestivas (DC), Membrana Basal Descolada (BM), Traqueia (Tr), Núcleo (N) . Barra = 10µm. **3.** Epitélio do intestino médio de lagartas alimentadas com folhas de plantas expostas o Ácido Silícico Foliar (T16 3,0% de SiO₂), mostrando Células Digestivas (DC) e Células Caliciformes (GC) com vacúolos no citoplasma (V), Borda Estriada bem desenvolvida (BB), Núcleo (N). Observe a membrana peritrófica (PM). Barra = 10 µm. **4.** Epitélio do intestino médio de lagartas alimentadas com folhas de plantas expostas ao Sili-K[®] (T12 3,0 l ha⁻¹), mostrando Membrana Basal Descolada (BM), Borda Estriada bem desenvolvida (BB), Luz (L), Células Digestivas (DC), Núcleo (N) . Barra = 10µm. **5.** Epitélio do intestino médio de lagartas provenientes do grupo controle (T21), sem qualquer adição de compostos contendo silício, mostrando Micetócitos (MY), Núcleo (N), Borda Estriada bem desenvolvida (BB), mostrando Membrana Basal íntegra (BM), Células Digestivas (DC), Células Caliciformes (GC), Luz (L). Barra= 10µm..... 82

Figuras 6-7. **Figuras 6-7.** Mandíbulas de lagartas de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) sem diferença no formato dos dentes. **6.** Lagartas de quarto estágio expostas ao Ácido Silícico Foliar (T5 0,50% de SiO₂) mostrando Músculo Insector

(M). Barra = 20µm 7. Lagartas de quarto estágio pertencentes ao grupo controle (T21), sem qualquer adição de compostos contendo silício. Barra = 20µm.....84

RESUMO

Efeito de silício em características morfológicas, comportamentais e na história de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)

O uso do silício na agricultura apresenta potencial para diminuir o uso de agrotóxicos, mantendo a qualidade dos frutos e protegendo o ambiente. Este trabalho teve o objetivo de avaliar as alterações na morfologia do intestino médio, mandíbula, biologia e não-preferência de oviposição de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) causadas pela alimentação com compostos contendo silício, além de avaliar a melhor fonte e menor dose de silício eficaz no controle desta praga. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco repetições, sendo vinte e um tratamentos, incluindo a testemunha [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Lagartas de *T. absoluta* foram alimentadas com diferentes compostos contendo silício e a histologia do intestino médio de lagartas de quarto ínstar foi analisada. As mandíbulas de todos os estádios larvais foram dissecadas e processadas para análise em microscópio eletrônico de varredura. As características biológicas avaliadas foram: duração das fases larval e pupal, sobrevivência de lagartas e pupas e peso de pupas machos e fêmeas. A não-preferência para oviposição de *T. absoluta* em plantas de tomateiro tratadas com silício foi avaliada através de testes com e sem chance de escolha. Não foram observadas alterações na morfologia das mandíbulas das lagartas de *T. absoluta* alimentadas com silício comparadas ao grupo testemunha. Lagartas de *T. absoluta*

provenientes da testemunha e dos tratamentos onde o silicato de cálcio foi aplicado ao solo não mostraram diferenças na morfologia das células do epitélio do intestino médio, que foi formado por uma camada única de células onde quatro tipos celulares puderam ser identificados: células colunares, caliciformes, regenerativas e micetócitos. Em lagartas de *T. absoluta* obtidas dos tratamentos à base de silício aplicado via foliar, o epitélio digestivo médio apresentou descolamento da membrana basal. Não foram observadas diferenças na duração das fases larval e pupal, peso de pupas machos e fêmeas de *T. absoluta* e preferência de oviposição, nos indivíduos provenientes dos tratamentos com silício aplicado no solo e testemunha. Entretanto, insetos obtidos dos tratamentos à base de silício aplicado via foliar apresentaram aumento no número de dias das fases larval e pupal, diminuição do peso de pupas machos e fêmeas e diminuição na preferência de oviposição, o que pode caracterizar o possível efeito antialimentar deste elemento para lagartas de *T. absoluta*.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, *Tuta absoluta*, silício, morfologia interna, comportamento, manejo integrado de pragas.

ABSTRACT

Effect of silicon on morphological, behavioral and life history of the tomato leafminer

Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)

The use of silicon in agriculture has potential to reduce pesticide use, keeping fruit quality and protecting the environment. This study evaluated changes in the morphology of the midgut, mandibles, biology and non-preference for oviposition of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) caused by feeding with compounds containing silicon. The experimental design was randomized blocks with five replicates, twenty one treatments, including control [(Agrosilício® soil (t ha⁻¹ of SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício® leaves (t ha⁻¹ of SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K® (l ha⁻¹ of product) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Silicic Acid Leaves (% of SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Silicic Acid Leaves (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); control (T21)]. *T. absoluta* larvae were fed with different compounds containing silicon and histology of the midgut of fourth instar larvae was analyzed. The mandibles of all larval instars were dissected and processed for scanning in electron microscope. The biological characteristics evaluated were: duration of larval and pupal stages, survival of larvae and pupae and pupal weight of males and females. The non-preference for oviposition of *T. absoluta* in tomato plants treated with silicon was evaluated using choice and non choice trials. There were no changes in the morphology of mandibles on *T. absoluta* fed with silicon compared to the control group. *T. absoluta* larvae from the control group and treatments where the calcium silicate was applied to the soil showed no differences in cell morphology of the epithelium of midgut, which was formed by a single layer of cells where four cell types could be identified: columnar cells, goblet, regenerative, and mycetocyte. However, in *T. absoluta* larvae obtained from leaf application silicon-based

treatments, the medium digestive epithelium showed detachment of the basement membrane. There were no differences in duration of larval and pupal stages, pupal weight of males and females of *T.absoluta* and oviposition preference from the treatments with silicon applied to the soil and those in the control group. However, individuals obtained from leaf application silicon-based treatments showed an increased in the larval and pupal stages, decreased weight of pupae males and females and decreased oviposition preference, which may characterize the possible deterrent effect of this element for larvae of *T. absoluta*.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Tuta absoluta*, silicon, internal morphology, insect behavior, integrated pest management.

INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) é uma das espécies hortícolas de maior importância no mundo. No Brasil, introduzido por imigrantes europeus no início do século XX e cultivado na maioria dos estados brasileiros, o tomateiro constitui uma das hortaliças-fruto mais importantes comercialmente, com uma produção anual média de 3,2 milhões de toneladas, numa área plantada em torno de 63.000 ha (Agrianual, 2011). A maior parte da colheita nacional destina-se à mesa, entretanto, a produção destinada às agroindústrias vem crescendo, especialmente na região dos cerrados (IBGE, 2008), onde a expansão da lavoura deve-se ao clima seco, no período de março a setembro, que favorece o cultivo do tomateiro, além de apresentar solos profundos, bem drenados e topografia plana, o que facilita a mecanização e permite o uso de grandes sistemas de irrigação (Silva & Giordano, 2000).

A traça-do-tomateiro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) é um dos principais insetos praga do tomateiro (Medeiros et al., 2005; 2009). Representa um sério problema à tomaticultura, não somente pela intensidade de ataque, mas também por sua ocorrência durante todo o ciclo da cultura (Giustolin et al., 2002) especialmente no período mais seco do ano (Medeiros et al., 2011). Ocorre na maioria dos países da América do sul (Michereff Filho et al., 2000; Leite et al., 2004), se alimentando do tomate e outras plantas da família Solanaceae (França & Castelo Branco, 1992).

Tuta absoluta possui metamorfose completa, com fases de ovo, lagarta, pupa e adulto. Os adultos de *T. absoluta* são microlepidópteros de aproximadamente 10 mm de envergadura e 6 mm de comprimento e possuem longevidade média de 22 dias (Gallo et al., 2002). As asas anteriores possuem escamas alternadas, com diversas tonalidades, sendo o

aspecto geral manchado e grisalho e as posteriores são de coloração marrom-claro com franjas nos bordos posteriores e distais, as antenas são filiformes e compridas, com artículos de coloração marrom-claro e escuro alternados (Haij, 1982; Gallo et al., 2002). Os ovos são depositados isoladamente nas folhas, no caule e no cálice das flores, são elípticos e de coloração amarelo-claro (Nakano & Paulo, 1983). Cada fêmea pode depositar de 55 a 130 ovos durante três a sete dias (Coelho & França, 1987; Haji et al., 1988). Existe uma maior concentração de posturas no terço superior das plantas, sendo que a maioria dos ovos é depositada nas folhas (Haij et al., 1988; Torres et al., 2001; Pratissoli et al., 2003). As lagartas de *T. absoluta* podem atingir cerca de 9 mm de comprimento. Inicialmente são brancas com cabeça marrom-escuro, com cápsula cefálica bem marcada no primeiro segmento torácico. Posteriormente, adquirem coloração verde com uma mancha longitudinal suavemente avermelhada no dorso (Gallo et al., 2002). As lagartas alimentam-se do mesófilo das folhas causando minas (França et al., 2000; Medeiros et al., 2009) e também de brotos novos, flores e frutos (Michereff Filho & Vilela, 2001). As pupas possuem coloração verde, passando depois a marrom. A fase pupal dura em média 6 a 10 dias, após a qual emergem os adultos (Gallo et al., 2002; Medeiros et al., 2009). O ciclo completo desta praga dura de 26 a 30 dias (Medeiros et al., 2009).

A cultura do tomate no Brasil está em expansão e modernização, buscando maior produtividade e qualidade para atender às demandas do mercado, gerando assim maior preocupação com o controle de pragas (Leite et al., 2001; Vivan et al., 2002) que podem causar reduções substanciais na qualidade dos frutos (Miranda et al., 1998; Kennedy, 2003; Mahanil et al., 2008). Os métodos de controle utilizados em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) visam reduzir ou utilizar inseticidas compatíveis com os inimigos naturais (Zanuncio et al., 2003). *T. absoluta* tem sido controlada normalmente

através de múltiplas aplicações de inseticidas (Siqueira et al., 2000a; Benvenga et al., 2007; Collavino & Gimenez, 2008). No entanto, devido ao seu hábito de permanecer no mesofilo das folhas (Picanço et al., 2007a; 2007b; Medeiros et al., 2009), a eficácia do controle químico é diminuída e existe o risco da seleção de insetos resistentes (Ecole et al., 2000; Siqueira et al., 2000b; Lietti et al., 2005). Além disso, o uso freqüente de agrotóxicos pode prejudicar o controle biológico natural, gerar a produção de alimentos com altos níveis de resíduos tóxicos e contaminação ambiental (Almeida et al., 2009; Vianna et al., 2009).

O silício é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocorrendo, principalmente, no mineral inerte das areias - o quartzo, bem como na caulinita e outros minerais de argila. Produtos originados de agregados siderúrgicos são resíduos da metalurgia do ferro-gusa e aço que, devido à sua basicidade, podem ser utilizados como corretivos de solo, sendo excelentes fontes de Si e outros nutrientes, pois são constituídos principalmente de silicato de cálcio e magnésio (Nolla et al., 2004).

Embora o silício não seja essencial para a maioria das plantas (Epstein, 1999; Savant et al., 1999; Epstein & Bloom, 2005; Epstein, 2009), os benefícios deste elemento são evidentes, pois é capaz de proteger as plantas contra vários estresses bióticos (ataque de pragas e doenças) e abióticos (estresse hídrico) (Marschner, 1995; Ma & Yamaji, 2006; Nwugo & Huerta, 2008; Gomes et al., 2008a; Costa et al., 2009; Moraes et al., 2009). Dentre os efeitos benéficos deste elemento destacam-se o aumento à resistência das plantas às pragas (Marschner, 1995; Epstein, 1999; Epstein, 2009; Ferreira et al., 2011), devido a agentes químicos, físicos e barreiras estruturais (Korndörfer et al., 2004; Costa & Moraes, 2006; Epstein, 2009). O efeito da proteção mecânica é atribuído, principalmente, ao depósito de silício na forma de sílica amorfa na parede celular (Costa & Moraes, 2002; Basagli et al., 2003; Juliatti & Korndörfer, 2003; Correa et al., 2005; Gomes et al., 2005;

Moraes et al., 2005; Costa & Moraes, 2006; Dalastra et al., 2011), interagindo com compostos fenólicos e lignina, aumentando a rigidez e a força estrutural das plantas (Chérif et al., 1992; Ghanmi et al., 2004; Currie & Perry, 2007; Gomes et al., 2008b). Dentro desse aspecto, o uso do silício apresenta grande potencial para diminuir a frequência e o uso de inseticidas (Silva et al., 2010; Ferreira et al., 2011).

Diversos trabalhos comprovam a eficiência do uso de silicatos no controle de insetos devido à ação da barreira mecânica proporcionada pela deposição de silício na parede celular das folhas tratadas com este elemento (Goussain et al., 2002; Keeping & Meyer, 2002; Correa et al., 2005; Goussain et al., 2005; Moares et al., 2005; Massey et al., 2007; Gomes et al., 2008a; Almeida et al., 2009; Kvedaras et al., 2009; Santos et al., 2009; Dalastra et al., 2011; Ferreira et al., 2011; Korndörfer et al., 2011; Freitas et al., 2012). Porém, seus efeitos sobre *T. absoluta* ainda não foram comprovados. Existem, ainda, evidências de que os silicatos podem estar envolvidos como ativadores de genes e sinalização na biossíntese de compostos de defesa, em um processo denominado de Resistência Sistêmica Adquirida (RSA), que sintetiza compostos como as fitoalexinas e fenilpropanóides (Fawe et al., 2001; Gomes et al., 2005; Epstein, 2009). Entretanto, a adubação silicatada não é amplamente utilizada pelos agricultores brasileiros. Isto, possivelmente, deve-se à pouca divulgação de dados experimentais obtidos no Brasil em comparação com outros países (Prado, 2000).

O canal alimentar dos insetos é um tubo contínuo entre a boca e o ânus e compreende três regiões: o intestino anterior ou estomodeo onde o alimento pode ser armazenado, filtrado e parcialmente digerido; o intestino médio (IM), ventrículo ou mesêntero onde se realiza a digestão e absorção do alimento e o intestino posterior ou proctodeo onde pode ocorrer alguma absorção e a formação de fezes (Eaton, 1988; Terra,

1990; Chapman, 1998). O intestino anterior, na maioria dos insetos, apresenta-se como um tubo longo, tendo sua parte mediana dilatada como uma câmara armazenadora de alimentos. O IM tem início na base do pró-ventrículo e termina um pouco antes das inserções dos tubos de Malpighi.

O IM de Lepidoptera é constituído por um epitélio colunar, que é revestido por uma camada mais interna de fibras musculares estriadas circulares e outra mais externa de fibras longitudinais, sendo permeado por traquéias e células adiposas (Barth, 1972; Chapman, 1998). No IM é onde ocorrem os principais eventos da digestão, assimilação de nutrientes, manutenção da homeostase e liberação de neurohormônios, que regulam a atividade de vários outros processos fisiológicos, além de funcionar como barreira física contra a invasão de microrganismos patogênicos (Santos et al., 1984; Lehane & Billingsley, 1996; Marana, 1997; Jordão et al., 1999; Cristofolletti et al., 2001).

Geralmente, as células epiteliais do IM de insetos são caracterizadas morfológicamente correlacionando-as com suas possíveis funções (Del-Bene et al., 1991; Serrão & Cruz-Landim, 1996; Hung et al., 2000; Caetano & Rodrigues, 2001; Caetano & Zara, 2001; Lello & Vieira, 2001; Levy et al., 2004). O epitélio do IM em Lepidoptera é constituído, principalmente, por células colunares, caliciformes, regenerativas e endócrinas (Lehane & Billingsley, 1996), assentado sobre a membrana basal (Chapman, 1998).

As células colunares são as mais abundantes. São consideradas responsáveis pela secreção de enzimas digestivas e da membrana peritrófica, além de atuarem na absorção dos produtos da digestão (Santos et al., 1984; Richards & Davies, 1994; Lehane & Billingsley, 1996; Jordão et al., 1999). Exibem núcleo alongado, superfície apical com longas, inúmeras microvilosidades e projeções citoplasmáticas volumosas (Richards & Davies, 1994; Lehane & Billingsley, 1996). Na maioria dos insetos, o IM apresenta uma

membrana acelular (membrana peritrófica), que separa o conteúdo luminal em dois compartimentos, o espaço endoperitrófico (no interior da membrana) e o espaço ectoperitrófico (entre a membrana e o epitélio) (Chapman, 1985; Dow, 1986; Lehane & Billingsley, 1996; Terra, 2001). Em lagartas de Lepidoptera, a membrana peritrófica é secretada ao longo do IM pelas células colunares (De Priester, 1971; Santos et al., 1984; Terra, 1996; Harper & Granados, 1999; Hopkins & Harper, 2001). Embora impeça o contato direto do alimento com as estrias das células colunares, esta membrana permite a passagem das enzimas digestivas em direção à luz intestinal e a absorção dos produtos resultantes da digestão, sendo posteriormente eliminada com as fezes (Tellam, 1996). A membrana peritrófica também previne injúrias mecânicas às células do IM e parece dificultar ou impedir a entrada de microrganismos na hemocele (Barth, 1972; Chi et al., 1975; Terra, 1988; 1996; 2001).

As células caliciformes auxiliam as colunares na auto-regulação iônica e na absorção de metabólitos (Chi et al., 1975; Klein et al., 1991; Moffett et al., 1995; Chapman, 1998). Estas células recebem esta denominação por possuírem invaginação da membrana plasmática apical formando uma cavidade semelhante a um cálice; o interior desta cavidade é margeado por projeções citoplasmáticas semelhantes a microvilosidades (Chi et al., 1975; Dow, 1986; Chapman, 1998; Levy et al., 2004).

As células regenerativas estão relacionadas com o processo de renovação epitelial (Dow, 1986; Lehane & Billingsley, 1996; Chapman, 1998; Cavalcante & Cruz-Landim, 1999). São observadas isoladas, em pares ou formando grupos, localizados na base do epitélio (Barth, 1972; Maranhão, 1978; Chapman, 1985; Dow, 1986; Cavalcante & Cruz-Landim, 1999).

Já as células endócrinas estão principalmente relacionadas com o controle hormonal: dos movimentos peristálticos (Scoofs et al., 1993; Nässel et al., 1995), da digestão (Brown et al., 1985), diurese (Coast & Kay, 1994; Patel et al., 1995), do desenvolvimento e reprodução (Pratt et al., 1989; Woodhead et al., 1989), entre outras funções. As células endócrinas estão localizadas na base do epitélio, sendo caracterizadas pela presença de grande quantidade de grânulos citoplasmáticos (Sehna & Zitnan, 1996; Edwards & Weaver, 2001).

Muitas espécies de insetos, em várias ordens, dependem, obrigatoriamente, do mutualismo com microrganismos, principalmente bactérias (Moran; Baumann, 2000). Esta associação de mutualismo, intracelular na maioria das vezes, é chamada de primária (P) ou obrigatória, já que são necessárias à sobrevivência e reprodução de seu hospedeiro. Endossimbiontes primários de insetos ocorrem em células especializadas do hospedeiro, chamadas de bacteriócitos ou micetócitos, que podem formar uma estrutura única denominada bacterioma ou micetoma (Wernegreen, 2002). Existem também aqueles simbiosiontes denominados secundários (S), que estão associados facultativamente aos seus hospedeiros e podem ser encontrados em diversos órgãos dos insetos, habitando ou não o ambiente intracelular (Werren, 1997; Werren & Windsor, 2000).

OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar as possíveis alterações morfológicas no intestino médio e mandíbulas, na biologia e não-preferência para oviposição da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta*, causadas pela aplicação, via solo e via foliar, de diferentes fontes e doses de silício em plantas de tomate.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar alterações morfológicas provocadas no intestino médio de *T. absoluta* alimentadas em tomateiro adubado com diferentes fontes e doses de silício;
- Avaliar o desgaste na região incisora das mandíbulas de *T. absoluta* provocadas pela alimentação em tomateiro adubado com diferentes fontes e doses de silício;
- Avaliar alterações na duração das fases larval e pupal, sobrevivência de larvas e pupas e peso de pupas fêmea e macho de *T. absoluta* pela alimentação em tomateiro adubado com diferentes fontes e doses de silício;
- Avaliar alterações na preferência de oviposição de *T. absoluta* em função da adubação do tomateiro com diferentes fontes e doses de silício;
- Avaliar a melhor fonte e menor dose de silício eficaz no controle de *T. absoluta*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL. 2011. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativos. 324p.
- Almeida GD, Pratissoli D, Zanuncio JC, Vicentini VB, Holtz AM, Serrão JE. 2009. Calcium silicate and organic mineral fertilizer increase the resistance of tomato plants to *Frankliniella schultzei*. *Phytoparasitica*, 37, 225-230.
- Barth R. 1972. *Entomologia geral*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Oswaldo Cruz, p.105-214.
- Basagli MAB, Moraes JC, Carvalho GA, Ecole CC, Gonçalves-Gervásio, RCR. 2003. Effect of sodium silicate on the resistance of wheat plants to green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 32, 659-663.
- Benvenga SR, Fernandes AO, Gravena S. 2007. Tomada de decisão de controle da traça-do-tomateiro através de armadilhas com feromônio sexual. *Horticultura Brasileira* 25, 164-169.
- Brown MR, Raikel AS, Lea AD. 1985. Ultrastructure of midgut endocrine cells in the adult mosquito, *Aedes aegypti*. *Tissue and Cell*, 17,709-22.
- Caetano FH, Rodrigues P. 2001.Ultrastructure of the ventriculus of the ant *Odontomachus bauri* (Formicidae: Poneridae). *Naturalia*, 26, 43-51.
- Caetano FH, Zara FJ. 2001.Ultramorphology and histology of the foregut and midgut of *Pachycondyla* (= *Neoponera*) *villosa* (Fabricius) larvae (Formicidae: Poneridae). *Journal of Hymenoptera Research*, 10, 251-60.
- Cavalcante VM, Cruz-Landim C. 1999. Types of cells present in the midgut of the insects: A review. *Naturalia*, 24, 19-40.
- Chapman RF. 1998. *The insects: Structure and function*. 4a ed. Cambridge, Harvard University Press, 770p.
- Chérif M, Menzies JG, Benhamou N, Bélanger RR. 1992. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 41, 371–385.
- Chi C, Drew WA, Young JH, Curd MR. 1975. Comparative morphology and histology of the larval digestive system of two genera of Noctuidae (Lepidoptera): *Heliothis* and *Spodoptera*. *Annals of the Entomological Society of America*, 68, 371-380.
- Coast GM, Kay I. 1994. The effects of *Acheta* diuretic peptide on isolated Malpighian tubules from the house cricket, *Acheta domesticus*. *The Journal of Experimental Biology*, 187, 225-243.

- Coelho MCF, França FH. 1987. Biologia, quetotaxia da larva e descrição da pupa e adulto da traça-do-tomateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 22, 129–135.
- Collavino MD, Gimenez RA. 2008. Efficacy of imidacloprid to control the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick). *Idesia*, 26, 65-72.
- Correa RSB, Moraes JC, Auad AM, Carvalho GA. 2005. Silicon and acibenzolar-s-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) *Biotype B*. *Neotropical Entomology*, 34, 429-433.
- Costa RR, Moraes JC. 2002. Resistência induzida em sorgo por silicato de sódio e infestação inicial pelo pulgão-verde *Schizaphis graminum*. *Revista Ecosystema*, 27, 37-39.
- Costa RR, Moraes JC. 2006. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-s-methyl na resistência de plantas de trigo ao *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 35, 834–839.
- Costa RR, Moraes JC, Costa RR. 2009. Interação silício-imidacloprid no comportamento biológico e alimentar de *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. *Ciência e Agrotecnologia*, 33, 455-460.
- Cristofolletti PT, Ribeiro AF, Terra WT. 2001. Apocrine secretion of amylase, exocytosis of trypsin along the midgut of *Tenebrio molitor* larvae. *Journal of Insect Physiology*, 47, 143-155.
- Currie HA, Perry CC. 2007. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Annals of Botany*, 100, 1383-1389.
- Dalastra C, Campos AR, Fernandes FM, Martins GM, Campos ZR. 2011. Silício como indutor de resistência no controle do tripses do prateamento *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoimzeiro. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 531-538.
- De Priester W. 1971. Ultrastructure of the midgut epithelial cells in the fly *Calliphora erythrocephala*. *Journal of Ultrastructure Research*, 36, 783-805.
- Del-Bene G, Dallai R, Marchini D. 1991. Ultrastructure of the midgut and the adhering tubular salivary glands of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, 20, 15-24.
- Dow JAT. 1986. Insect midgut function. *Advances in Insect Physiology*, 19, 187-328.
- Eaton JL. 1988. *Lepidopteran Anatomy*. New York: Wiley-Interscience Publication. 257p.
- Ecole CC, Picanço MC, Moreira MD, Magalhaes STV. 2000. Chemical components associated with resistance of *Lycopersicon hirsutum* f. *typicum* to *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 29, 327-337.

- Edwards JP, Weaver RJ. 2001. Endocrine interactions of insect parasites and pathogens. Trowbridge: The Cromwell Press. 314p.
- Epstein E. 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology, 50, 641–664.
- Epstein E, Bloom AJ. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Sinanuer Associates. 400p.
- Epstein E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. Annals of Applied Biology, 155, 115-160.
- Fawe A, Menzies JG, Cherif M, Bélanger RR. 2001. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff LE, Snyder GH.; Korndorfer GH. (Eds.). Silicon in Agriculture. Amsterdam, 159-169.
- Ferreira RS, Moraes JC, Antunes CS. 2011. Silicon influence on resistance induction against *Bemisia tabaci* biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) and on vegetative development in two soybean cultivars. Neotropical Entomology, 40, 495-500.
- França FH, Castelo Branco M. 1992. Ocorrência da traça-do-tomateiro em solanáceas silvestres no Brasil Central. Horticultura Brasileira, 10, 6-10.
- França FH, Villas Bôas GL, Castelo Branco M, Medeiros MA. 2000. Manejo integrado de pragas. In: Silva JBC, Giordano LB. (Eds). Tomate para processamento industrial. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Embrapa Hortaliças, p.112-127.
- Freitas LM, Junqueira AMR, Michereff Filho M. 2012. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em plantas de repolho. Revista Caatinga, 25, 8-13.
- Gallo D, Nakano O, Neto SS, Carvalho RPL, Batista GC, Filho EB, Parra JRP, Zucchi RA, Alves SB, Vendramim JD, Marchini LC, Lopes JRS, Omoto C. 2002. Entomologia agrícola. Piracicaba, FEALQ. 920p.
- Ghanmi D, McNally DJ, Benhamou N, Menzies JG, Belanger RR. 2004. Powdery mildew of *Arabidopsis thaliana*: A pathosystem for exploring the role of silicon in plant-microbe interactions. Physiological and Molecular Plant Pathology, 64, 189–199.
- Giustolin TA, Vendramim JD, Parra JRP. 2002. Número de ínstares larvais de *Tuta absoluta* (Meyrick) em genótipos de tomateiro. Scientia Agricola, 59, 393-396.
- Gomes FB, Moraes JC, Santos CD, Goussain MM. 2005. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. Scientia Agricola, 62, 547–551.
- Gomes FB, Moraes JC, Assis GA. 2008a. Silício e imidacloprid na colonização de plantas por *Myzus persicae* e no desenvolvimento vegetativo de batata inglesa. Ciência Rural, 38, 1209-1213.

- Gomes FB, Moraes JC, Antunes CS. 2008b. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 37, 185-190.
- Goussain MM, Moraes JC, Carvalho J, Nogueira NL, Rossi NL. 2002. 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*, 306-310.
- Goussain MM, Prado ME, Moraes JC. 2005. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behavior of the Greenbug *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 34, 807-813.
- Haij FNP, Parra JRP, Silva JP, Batista JGS. 1988. Biologia da traça-do-tomateiro sob condições de laboratório. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 23, 107-110.
- Haij FNP. 1982. Nova praga do tomateiro no vale do salitre no Estado da Bahia. Petrolina: EMBRAPA – COATSA, 2p. (comunicado técnico, 10).
- Harper MS, Granados RR. 1999. Peritrophic membrane structure and formation of larval *Trichoplusia ni* with an investigation on the secretion patterns of a PM mucin. *Tissue and Cell*, 31, 202-211.
- Hopkins TL, Harper MS. 2001. Lepidoptera peritrophic membranes and effects of dietary Wheat Germ Agglutinin on their formation and structure. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 47, 100-109.
- Hung CN, Lin TL, Lee WY. 2000. Morphology and ultrastructure of the alimentary canal of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) (2): The structure of the midgut. *Zoological Studies*, 39, 387-394.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em 22 de dezembro de 2011.
- Jordão BP, Capella AN, Terra WR, Ribeiro AF, Ferreira C. 1999. Nature of the anchors of membrane-bound aminopeptidase, amylase, trypsin a secretory mechanism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera) midgut cells. *Journal of Insect Physiology*, 45, 29-37.
- Juliatti FC, Korndörfer GH. 2003. Uso do Silício no manejo integrado de doenças de plantas: experiência brasileira. *Fitopatologia Brasileira*, 28, 45-52.
- Keeping MG, Meyer JH. 2002. Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the African stalk borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 4, 265-274.

Kennedy GG. 2003. Tomato, pests, parasitoids, and predators: Tritrophic interactions involving the genus *Lycopersicon*. Annual Review of Entomology, 48, 51–72.

Klein U, Löffelmann G, Wieczorec H. 1991. The midgut as a model system for insect K⁺ transporting epithelia: immunocytochemical localization of a vacuolar type H⁺ pump. The Journal of Experimental Biology, 161, 61-75.

Korndörfer GH, Pereira HS, Nolla A. 2004. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, 34p.

Korndörfer AP, Grisoto E, Vendramim JD. 2011. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. Neotropical Entomology, 40, 387-392.

Kvedaras OL, Byrne MJ, Coombes NE, Keeping MG. 2009. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. Agricultural and Forest Entomology, 11, 301–306.

Lehane MJ, Billingsley PF. 1996. Biology of the insect midgut. London, Chapman & Hall, 486p.

Leite GLD, Picanço MC, Guedes RNC, Zanuncio JC. 2001. Role of plant age in the resistance of *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum* to the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). Scientia Horticulturae, 89, 103–113.

Leite GLD, Picanço MC, Jham GN, Marquini F. 2004. Intensity of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) attacks on *Lycopersicon esculentum* Mill. leaves. Ciência e Agrotecnologia, 28, 42-48.

Lello E, Vieira AM. 2001. Desenvolvimento pós-embrionário do intestino médio de *Dermatobia hominis* (Linnaeus Jr.) (Diptera, Cuterebridae). Revista Brasileira de Zoologia, 18, 91-98.

Levy SM, Falleiros AMF, Gregório EA, Arrebola NR, Toledo LA. 2004. The larval midgut of *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae): light and electron microscopy studies of the epithelial cells. Brazilian Journal of Biology, 64, 633-638.

Lietti MM, Botto E, Alzogaray RA. 2005. Insecticide resistance in argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Neotropical Entomology, 34, 113-119.

Ma JF, Yamaji N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Plant Science, 11, 392–397.

Mahanil S, Attajarusit J, Stout MJ, Thipyapong P. 2008. Overexpression of tomato polyphenol oxidase increases resistance to common cutworm. Plant Science, 74, 456–466.

Marana SR, Ribeiro AF, Terra WT, Ferreira C. 1997. Ultrastructure and secretory activity of *Abracris flavolineata* (Orthoptera: Acrididae) midguts. *Journal of Insect Physiology*, 43, 456-73.

Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic. 889p.

Massey FP, Ennos AR, Hartley SE. 2007. Silica in grasses as a defense against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. *Journal of Animal Ecology*, 75, 595-603.

Medeiros MA, Villas Boas GL, Carrijo OA, Makishima N, Vilela NJ. 2005. Manejo integrado da traça-do-tomateiro em ambiente protegido. *Embrapa hortaliças, Circular Técnica*, 36. 10p.

Medeiros MA, Sujii ER, Rasi GC, Liz RS, Morais HC. 2009. Padrão de oviposição e tabela de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 53, 452-456.

Medeiros MA, Sujii ER, Morais HC. 2011. Fatores de mortalidade na fase de ovo de *Tuta absoluta* em sistemas de produção orgânica e convencional de tomate. *Bragantia*, 70, 72-80.

Michereff Filho M, Vilela EF, Jham NG, Attygalle A, Svatoš A, Meinwald J. 2000. Initial studies of mating disruption of the tomato moth, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) using synthetic sex pheromone. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 11, 621-628.

Michereff Filho M, Vilela EF. 2001. Traça-do-tomateiro, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). In: Vilela EF, Zucchi RA, Cantor F. (Eds). *Histórico e impacto das pragas introduzidas no Brasil*. Ribeirão Preto: Holos. 81-84.

Miranda MMM, Picanço MC, Zanuncio JC, Guedes RNC. 1998. Ecological life table of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Biocontrol Science and Technology*, 8, 597-606.

Moffett DF, Koch A, Woods R. 1995. Electrophysiology of K⁺ transport by epithelium of lepidopteran insect larvae. III. Goblet valve patency. *Journal of Experimental Biology*, 198, 2103-2113.

Moraes JC, Goussain MM, Carvalho GA, Costa RR. 2005. 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*, 29, 761-766.

Moraes JC, Ferreira RS, Costa RR. 2009. Indutores de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn., 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja. *Ciência e Agrotecnologia*, 33, 1260-1264.

Nakano O, Paulo AD. 1983. As traças-do-tomateiro. *Agroquímica Ciba-Geigy*, 20, 8-12.

Nassel DR, Kim MY, Lundquist CT. 1995. Several forms of callitachykinins are distributed in the central nervous system and intestine of the blowfly *Calliphora vomitoria*. *Journal of Experimental Biology*, 198, 1527-1536.

Nolla A, Konrdörfer GH, Arruda DG. 2004. Eficiência de silicato de cálcio e calcário no controle de *Cercospora sojina* na cultura da soja. In: III Simpósio sobre silício na agricultura, Uberlândia. Resumos expandidos Uberlândia: Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura (CD ROM).

Nwugo CC, Huerta AJ. 2008. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. *Plant and Soil*, 311, 73-86.

Patel N, Hayes TK, Coast GM. 1995. Evidence for the hormonal function of a CRF-related diuretic peptide (*Locusta*-DP) in *Locusta migratoria*. *Journal of Experimental Biology*, 198, 793-804.

Picanço MC, Bacci L, Crespo ALB, Miranda MMM, Martins JC. 2007a. Effect of integrated pest management practices on tomato *Lycopersicon esculentum* production and preservation of natural enemies of pests. *Agriculture and Forest Entomology*, 9, 201–212.

Picanço MC, Bacci L, Silva EM, Morais EGF, Silva GA, Silva NR. 2007b. Manejo integrado das pragas do tomateiro no Brasil. In: Silva DJH, Vale FXR (Eds), *Tomate: Tecnologia de Produção*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brazil, 199–232.

Prado RM. 2000. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo. Universidade Estadual Paulista, 97p. (Dissertação de mestrado)

Pratt GE, Farnsworth DE, Sigel NR, Fox KF, Feyereisen R. 1989. Identification of allatostatin from adult *Diploptera punctata*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 163, 1243-1247.

Pratissoli D, Parra JRP, Fernandes OAR, Oliveira C, Zago HB, Pereira FF. 2003. Oviposition pattern of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on tomato under different population densities in greenhouse. *Agrociência*, 19, 11–15.

Richards OW, Davies RG. 1994. *Imms General Textbook of Entomology*. 10.ed. Londres: Chapman & Hall. 418p.

Santos CD, Ribeiro AF, Ferreira C, Terra WR. 1984. The larval midgut of the cassava hornworm (*Erinnyis ello*): ultrastructure, fluid and fluxes and the secretory activity in relation to the organization of digestion. *Cell Tissue Research*, 237, 565-574.

Santos AB, Prabhu AS, Ferreira E, Fageria NK. 2009. Fertilização silicatada na severidade de brusone e na incidência de insetos-praga em arroz irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13, 537-543.

Savant NK, Korndorfer GH, Datnoff LE, Snyder GH. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 22, 1853–1903.

Scoofs L, Van Den Broeck J, De Loof A. 1993. The myotropic peptides of *Locusta migratoria*: structures, distribution, functions and receptors. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 23, 859-881.

Sehnal F, Zitnan D. Midgut endocrine cells. In: Lehane MJ, Billingsley PF. (Eds). *Biology of the insect midgut*. London: Chapman & Hall, 1996. p. 55-78.

Serrão JE, Cruz-Landim C. 1996. Ultrastructure of midgut endocrine cells in workers of stingless bee (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). *Iheringia Série Zoologia*, 81, 151-156.

Silva JBC, Giordano LB. 2000. *Tomate para processamento industrial*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Hortaliças. 168p.

Silva VF, Moraes JC, Melo BA. 2010. Influence of silicon on the development, productivity and infestation by insect pests in potato crops. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 1465-1469.

Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanço MC. 2000a. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 2, 147-153.

Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanço MC. 2000b. Cartap resistance and synergism in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology*, 124, 233-238.

Tellam RL. 1996. The peritrophic matrix. In: Lehane MJ, Billingsley PF. (Eds). *Biology of the insect midgut*. London: Chapman & Hall, 86-114.

Terra WR. 1988. Physiology and biochemistry of insect digestion: An evolutionary perspective. *Brazilian Journal of Medical Biology Research*, 21, 675-734.

Terra WR. 1990. Evolution of digestive systems of insect. *Annual Review of Entomology*, 35, 181-200.

Terra WR. 1996. Evolution and function of insect peritrophic membrane. *Ciência Cultura*, 48, 317-324.

Terra WR. 2001. The origin and functions of the insect peritrophic membrane and peritrophic gel. *Archives of Insect Biochemistry Physiology*, 47, 47-61.

Torres JB, Faria CA, Evangelista WS, Pratisoli D. 2001. Within-plant distribution of the leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) immatures in processing tomatoes, with notes on plant phenology. *Integrated Journal Pest Management*, 47, 173–178.

Vianna UR, Pratissoli D, Zanuncio JC, Lima ER, Brunner J, Pereira FF, Serrão JE. 2009. Insecticide toxicity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) females and effects on descendent generation. *Ecotoxicology*, 18, 180-186.

Vivan LM, Torres JB, Veiga FSL, Zanuncio JC. 2002. Comportamento de predação e conversão alimentar de *Podisus nigrispinus* sobre a traça-do-tomateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36, 581–587.

Wernegreen JJ. 2002. Genome evolution in bacterial endosymbiontes of insects. *Nature*, 3, 850-860.

Werren JH. 1997. Biology of *Wolbachia*. *Annual Review of Entomology*, 42, 587-609.

Werren JH, Windsor DM. 2000. *Wolbachia* infection frequencies in insects: evidence of a global equilibrium? *Proceedings of the Royal Society of London*, 267, 1277-1285.

Woodhead AT, Stay B, Seidel SL, Khan MA, Tobe SS. 1989. Primary structure of four allatostatins: neuropeptide inhibitors of juvenile hormone synthesis. *Proceedings of the National Academy of Science*, 86, 5997-6001.

Zanuncio TV, Serrão JE, Zanuncio JC, Guedes RNC. 2003. Permethrin-induced hormesis on the predator *Supputius cincticeps* (Stal, 1860) (Heteroptera: Pentatomidae). *Crop Protection*, 22, 941–947.

CAPÍTULO I

**EFEITO DO SILÍCIO EM ASPECTOS
COMPORTAMENTAIS E NA HISTÓRIA DE
VIDA DE *Tuta absoluta* (MEYRICK)
(LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE)**

RESUMO

Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).

A tecnologia baseada no uso do silício apresenta potencial para diminuir o uso de agrotóxicos, mantendo a qualidade dos frutos e protegendo o ambiente. Este trabalho teve como objetivo avaliar se a utilização de silício em diferentes fontes e doses em plantas de tomate sobre os aspectos biológicos e preferência de oviposição da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com vinte e um tratamentos incluindo a testemunha, em cinco repetições [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹) - T5 2,0; T6 4,0; T7 6,0; T8 8,0); (Sili-K[®] (l ha⁻¹) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (%) - T13 0,25; T14 0,50; T15 0,75; T16 1,00); (Ácido silícico solo (%) - T17 0,25; T18 0,50; T19 0,75; T20 1,00); controle T21]. Os parâmetros biológicos avaliados foram: duração das fases larval e pupal, sobrevivência de larvas e pupas e peso de pupas machos e fêmeas. A não-preferência para oviposição de *T. absoluta* em plantas de tomateiro tratadas com silício foi avaliada através de testes com e sem chance de escolha. Não foram observadas diferenças na duração das fases larval e pupal, sobrevivência de lagartas e pupas, peso de pupas machos e fêmeas de *T. absoluta* e preferência de oviposição em indivíduos provenientes dos tratamentos com silício aplicado no solo e daquelas do grupo controle. Entretanto, insetos obtidos dos tratamentos à base de silício aplicado via foliar apresentaram aumento na duração das fases larval e pupal, diminuição na sobrevivência de lagartas e pupas, diminuição do peso de pupas machos e fêmeas e diminuição na preferência de oviposição, evidenciando interferência desse elemento em

aspectos biológicos e comportamentais do inseto que podem vir a ser utilizados como táticas de manejo da traça-do-tomateiro.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, *Tuta absoluta*, silício, biologia, comportamento, manejo integrado de pragas.

ABSTRACT

Effect of silicon on behavioral aspects and life history of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).

The technology based on the use of silicon has potential to reduce pesticide use, keeping fruit quality and protecting the environment. This study evaluated the effect of silicon in different sources and levels on biological and behavior characteristics of the tomato pinworm *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato plants. The experimental design was a randomized block with twenty one treatments, including control, in five replicates [(Agrosilício[®] soil (t ha⁻¹ of SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] leaves (t ha⁻¹ of SiO₂) - T5 2,0; T6 4,0; T7 6,0; T8 8,0); (Sili-K[®] (l ha⁻¹ of product) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Silicic Acid Leaves (% of SiO₂) - T13 0,25; T14 0,50; T15 0,75; T16 1,00); (Silicic acid soil (% of SiO₂) - T17 0,25; T18 0,50; T19 0,75; T20 1,00); control T21]. The characteristics evaluated were: duration of larval and pupal stages, survival of larvae and pupae and pupal weight of males and females individuals. The non-preference for oviposition of *T. absoluta* in tomato plants treated with silicon was evaluated by testing with choice and without choice trials. There were no differences in the length of larval and pupal stages, survival of larvae and pupae, pupal weight of males and females of *T. absoluta* and oviposition observed in individuals from the treatments with silicon applied to the soil and those in the control group. However, insects obtained from leaf application silicon based treatments showed an increase in the number of days of larval and pupal stages, decrease survival of larvae and pupae, decreased pupae weight of males and females and a decrease in oviposition preference, showing that this

mineral element affects both biology and feeding behavior of this insect and this could be used as a tool to control the tomato leafminer.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Tuta absoluta*, silicon, biology, feeding behavior, integrated pest management.

1 INTRODUÇÃO

A traça-do-tomateiro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), nativa da América do Sul (Michereff Filho et al., 2000; Gomide et al., 2001), é uma das principais pragas do tomateiro no Brasil (Suinaga et al., 1999; Torres et al., 2001; Medeiros et al., 2005; Peralta et al., 2006; Medeiros et al., 2009).

Tuta absoluta é um inseto holometábolo cujo ciclo completo dura de 26 a 30 dias (Medeiros et al., 2009). O estágio de ovo dura de três a seis dias onde 77% das lagartas eclodem entre o quarto e quinto dia (Coelho & França, 1987). O estágio de lagarta, que é o causador dos danos, dura 14 dias. As lagartas de *T. absoluta* se alimentam do mesofilo das folhas causando minas, broqueiam o caule, perfuram o broto terminal e atacam os frutos, principalmente, na região de inserção do cálice, onde encontram apoio para penetrar (Haji, 1984; França et al., 2000; Michereff Filho & Vilela, 2001; Medeiros et al., 2009). A fase de pupa, que pode durar cerca de oito dias, desenvolve-se dentro da própria lesão foliar ou no solo. Após o estágio de pupa, os adultos emergem. Cada fêmea pode depositar de 55 a 130 ovos durante três a sete dias (Coelho & França 1987; Haji et al., 1988). Existe uma maior concentração de posturas no terço superior das plantas e a maioria dos ovos é depositada nas folhas (Haji et al. 1988; Torres et al. 2001; Pratissoli et al., 2003).

A traça-do-tomateiro representa sérios danos para a tomaticultura, ocorrendo durante todo o ciclo do tomateiro, independente do período em que seja cultivado (França & Castelo Branco, 1992; Giustolin et al., 2002), porém com maior intensidade no período mais seco do ano (Medeiros et al., 2011). Esta praga tem sido controlada normalmente através de aplicações múltiplas de inseticidas (Siqueira et al., 2000a; Benvenga et al., 2007; Collavino & Gimenez, 2008; Medeiros et al., 2009), o que é indesejável tanto por motivos

econômicos quanto ambientais. As aplicações sucessivas desses produtos químicos afetam os inimigos naturais, aumentam a possibilidade de desenvolvimento de populações da praga resistentes aos inseticidas, além da produção de alimentos com altos níveis de resíduos tóxicos (Siqueira et al., 2000b; Almeida et al., 2009; Vianna et al., 2009; Silva et al., 2011).

Os métodos de controle utilizados em programas de Manejo Integrado de Pragas visam reduzir ou utilizar inseticidas compatíveis com os inimigos naturais (Zanuncio et al., 2003). A fisiologia, a ecologia e a etiologia dos insetos herbívoros, dentro de outros aspectos de sua biologia estão inseridos em um contexto nutricional. A qualidade e a quantidade do alimento ingerido e a ingestão de compostos do metabolismo secundário das plantas podem causar efeitos deletérios, interferindo inclusive no desenvolvimento desses indivíduos (Hagen et al., 1984).

O silício é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocorrendo, principalmente, no mineral inerte das areias - o quartzo, bem como na caulinita e outros minerais de argila. Produtos originados de agregados siderúrgicos são resíduos da metalurgia do ferro-gusa e aço que, devido à sua basicidade, podem ser utilizados como corretivos de solo, sendo excelentes fontes de Si e outros nutrientes, pois são constituídos principalmente de silicato de cálcio e magnésio (Nolla et al., 2004).

Embora o silício não seja essencial para a maioria das plantas (Epstein, 1999; Savant et al., 1999; Epstein & Bloom, 2005; Epstein, 2009), a aplicação de silicatos tem aumentado a resistência das plantas às pragas, principalmente pela sua capacidade de acumulação na parte externa da parede celular (Costa & Moraes, 2002; Basagli et al., 2003; Juliatti & Korndörfer, 2003; Correa et al., 2005; Gomes et al., 2005; Moraes et al., 2005; Costa & Moraes, 2006; Dalastra et al., 2011), aumentando assim a síntese de compostos fenólicos e lignina (Chérif et al., 1992; Ghanmi et al., 2004; Currie & Perry, 2007), além de

ativar as defesas químicas endógenas das plantas atacadas (Fawe et al., 2001; Gomes et al., 2005; Epstein, 2009). Entretanto não foram feitos trabalhos evidenciando estes benefícios no tomateiro. Neste contexto, o uso do silício representa uma tecnologia com grande potencial para diminuir a frequência e o uso de inseticidas (Silva et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de silício sobre os aspectos biológicos e a não-preferência para oviposição de *T. absoluta*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Plantio, delineamento experimental e tratamentos

O plantio das mudas de tomateiro, variedade Tospodoro, obtidas na EMBRAPA Hortaliças, Brasília, DF, foi feito em casa de vegetação, em agosto de 2011 na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

As parcelas experimentais foram plantas de tomateiro cultivadas em vasos de polietileno com volume de três litros, contendo uma planta em cada vaso, com adubação de plantio contendo nitrogênio (600 kg ha^{-1} de sulfato de amônio), fósforo (3300 kg ha^{-1} de superfosfato simples) e potássio (330 kg ha^{-1} de cloreto de potássio), cujas quantidades foram calculadas em função da análise do solo e recomendação de Ribeiro & Guimarães (1999).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com cinco repetições, sendo vinte tratamentos e o controle (sem adição de qualquer composto contendo silício) (Tabela 1).

Foram testados três compostos como fontes de silício [Agrosilício[®] (22,4% de SiO_2), Sili-k[®] (12,2% Si) e ácido silícico (100% SiO_2)] em quatro doses cada um.

O Agrosilício[®] foi adicionado ao solo juntamente com a adubação de plantio, visando a elevação da saturação por bases para 70%, na dosagem de 100% de SiO_2 (Ribeiro & Guimarães, 1999), visto que este produto possui efeito corretivo (Sommer et al., 2006). A partir deste valor foram calculadas as demais dosagens de 50%, 150% e 200% de SiO_2 .

O Agrosilício[®] foi aplicado semanalmente via pulverização foliar nos tratamentos T5 ao T8 (250 ml de solução) nas dosagens de 50%, 100%, 150% e 200% de SiO_2 , tendo

como base a dosagem de 100%, correspondente a 1 tonelada de SiO₂ por hectare (Costa et al., 2009).

O produto Sili-K[®] foi aplicado (250 ml da solução), por pulverização, apenas via foliar, de acordo com a recomendação do fabricante, nas dosagens de 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 l ha⁻¹ do produto, semanalmente, nos tratamentos T9 ao T12, uma vez que não se encontra disponível para aplicação no solo.

A aplicação de 250 ml de solução de ácido silícico a 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0% de SiO₂ (Camargo et al., 2008; Costa et al., 2009) foi realizada, semanalmente, tanto via foliar (T13 ao T16) como no solo em torno das hastes das plantas (T17 ao T20) na dosagem correspondente a 1 tonelada de SiO₂ por hectare (Costa et al., 2009).

A primeira aplicação foliar destes produtos foi feita trinta dias após o plantio dos tomates, totalizando três aplicações em intervalos semanais. A testemunha (T21) recebeu apenas água destilada.

As plantas tratadas com Agrosilício[®] (foliar), Sili-k[®] e ácido silícico (solo e foliar) tiveram o solo corrigido com calcário dolomítico (0,8 t ha⁻¹) com objetivo de elevar a saturação por bases para 70%.

2.2 Efeito de Silício na Biologia de *T. absoluta*

Folhas de tomateiro com posturas de *T. absoluta* de mesma idade, provenientes da criação do Laboratório de Entomologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, foram seccionadas para que contivessem 10 ovos. Cada uma dessas áreas seccionadas foi fixada com auxílio de alfinete em um dos ramos da planta de tomateiro e acondicionada em sacos de organza de 15 x 20 cm envolvendo uma folha de tomate, sete dias após a última aplicação foliar dos produtos contendo silício.

Para avaliar o efeito do silício na biologia de *T. absoluta*, os ramos contendo os ovos foram observados diariamente anotando-se a eclosão e a ocorrência de pupas, as quais, 24 h após a formação, foram sexadas, pesadas, individualizadas em placas de Petri, colocadas em câmara climatizada tipo BOD a $25 \pm 0,5$ °C e fotofase de 12 horas, onde permaneceram até a emergência dos adultos.

As características biológicas avaliadas foram: duração e sobrevivência das fases larval e pupal e peso de pupas (machos e fêmeas).

2.3 Não-preferência para oviposição de *T. absoluta* em plantas de tomateiro tratadas com silício

Os testes foram realizados com folhas de tomateiro obtidas dos 20 tratamentos citados anteriormente e o controle, sem qualquer composto contendo silício (Tabela 1).

2.3.1 Teste com chance de escolha

Os testes com chance de escolha foram realizados em gaiolas de 30 x 36 cm, recobertas com tecido tipo organza para facilitar a ventilação. Na base de cada gaiola foram dispostas, ao acaso, folhas de cada tratamento mantidas em vidros contendo água. Em cada gaiola, foram liberados 40 adultos (20 fêmeas e 20 machos) alimentados com solução de mel a 10%. Após 48 horas, foi contado, sob microscópio estereoscópico, o número de ovos em cada tratamento (Thomazini et al., 2001). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 10 repetições (gaiolas) contendo os 21 tratamentos.

2.3.2 Teste sem chance de escolha

Os testes sem chance de escolha foram realizados em gaiolas de 13 x 15, recobertas com tecido tipo organza para facilitar a ventilação. Cada tratamento foi testado separadamente dos demais. Na base de cada gaiola foi colocada uma folha, mantida em

recipiente contendo água. Em cada gaiola, foram liberados 20 adultos (10 fêmeas e 10 machos) alimentados com solução de mel a 10%. Após 48 horas, foi contado, sob microscópio estereoscópico, o número de ovos em cada tratamento (Thomazini et al., 2001). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 10 repetições (gaiolas) por tratamento, 20 tratamentos e a testemunha.

2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (Scott & Knott, 1974) a 5% de probabilidade com o Sistema de Análises Estatísticas (SAEG[®]) 9.0.

3 RESULTADOS

3.1 Efeito de Silício na Biologia de *T. absoluta*

Lagartas de *Tuta absoluta* pertencentes ao grupo controle (T21) e aos tratamentos onde o silício foi aplicado no solo (T1 ao T4 e T17 ao T20), não apresentaram diferenças quanto à duração das fases larval (Figura 1) e pupal (Figura 2) e sobrevivência de lagartas (Figura 3) e pupas (Figura 4). Entretanto, lagartas de *T. absoluta* obtidas dos tratamentos à base de silício aplicados via foliar (T5 ao T16) apresentaram aumento da duração da fase larval ($P < 0,01$) (Figura 1) e diminuição da sobrevivência de larvas ($P < 0,01$) (Figura 3) e pupas ($P < 0,01$) (Figura 4) quando comparados aos demais tratamentos. Nos tratamentos onde o Agrosilício[®] foi aplicado nas folhas (T5 ao T8) também ocorreu aumento na duração da fase pupal, seguidos pelos tratamentos com Sili-K[®] (T9 ao T12) e ácido silícico aplicado via foliar (T13 ao T16) quando comparados aos demais tratamentos ($P < 0,01$) (Figura 2).

O peso de pupas fêmeas (mg) não diferiu do grupo controle (T21) e dos tratamentos onde o silício foi aplicado no solo (T1 ao T4 e T17 ao T20) (Tabela 2) (Figura 3). Houve diminuição no peso de pupas fêmea provenientes dos tratamentos onde o silício foi aplicado nas folhas (T5 ao T16) quando comparados aos demais tratamentos ($P < 0,01$) (Figura 5).

O peso de pupas macho (mg) não diferiu do grupo controle (T21) e dos tratamentos onde o silício foi aplicado no solo (T1 ao T4 e T17 ao T20) (Figura 5). Houve diminuição nos pesos de pupas machos provenientes dos tratamentos onde o silício foi aplicado nas folhas (T5 ao T16) quando comparados aos demais tratamentos ($P < 0,01$) (Figura 5).

3.2 Não-preferência para oviposição de *T. absoluta* em plantas de tomateiro tratadas com silício

3.2.1 Com chance de escolha

O número de ovos de *T. absoluta* obtido em folhas de tomateiro pertencentes ao grupo controle (T21) e aqueles onde o silício foi aplicado no solo (T1 ao T4 e T17 ao T20) foram semelhantes (Figura 6).

Nos tratamentos onde o Agrosilício[®] foi aplicado nas folhas (T5 ao T8), naqueles que receberam Sili-K[®] (T9 ao T12) ou ácido silícico nas folhas (T13 ao T16) foram os menos preferidos para oviposição ($P < 0,01$) (Figura 6).

3.2.2 Sem chance de escolha

Nos testes em confinamento, o número de ovos observados no grupo controle (T21) e nos tratamentos onde o silício foi aplicado no solo (T1 ao T4 e T17 ao T20) não diferiram entre si (Figura 7).

Os tratamentos onde o Agrosilício[®] foi aplicado nas folhas (T5 ao T8) apresentaram maior número de ovos em relação àqueles que receberam Sili-K[®] (T9 ao T11) e o ácido silícico nas folhas (T13, T15 e T16). Entretanto, T12 e T14 apresentaram menor número de ovos em relação aos demais tratamentos ($P < 0,01$) (Figura 7).

4 DISCUSSÃO

No presente estudo observou-se que em plantas de tomate que receberam o silício aplicado no solo (T1 ao T4 e T17 ao T20), bem como na testemunha (T21), não houveram alterações nos aspectos biológicos (duração das fases larval e pupal, sobrevivência de larvas e pupas e peso de pupas fêmeas e machos) e preferência de oviposição de *T. absoluta*. Entretanto, em trabalhos com diversas culturas como batata (Correa et al., 2005; Gomes et al., 2009), trigo (Costa et al., 2009), arroz (Santos et al., 2009), sorgo (Costa et al., 2011) e cana-de-açúcar (Korndorfer et al., 2011), onde os silicatos foram aplicados no solo, foram observadas alterações no comportamento dos respectivos insetos-praga.

As plantas absorvem silício diretamente da solução do solo, de forma rápida ou lenta, na forma de ácido monossilícico (Korndörfer, 2006), sendo transportado até as raízes via fluxo de massa (Jones & Handreck, 1967; Postek, 1981; Dayanadam et al., 1983), translocado pelo xilema e depositado na parede celular na forma de sílica amorfa ou opala biogênica (Balastra et al., 1989). O transporte do ácido monossilícico no interior da planta acontece no mesmo sentido do fluxo de água (transpiração) (Korndörfer, 2006), assim os maiores depósitos de Si ocorrem com maior frequência nas regiões onde a água é perdida em grande quantidade, ou seja, na epiderme foliar (Dayanadam et al., 1983). Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui na planta (Korndörfer, 2006). O efeito da proteção mecânica do silício nas plantas contra os insetos é atribuído ao seu depósito na forma de sílica amorfa na parte externa da parede celular (Costa & Moraes, 2002; Basagli et al., 2003; Juliatti & Korndörfer, 2003; Korndörfer et al., 2004; Correa et al., 2005; Gomes et al., 2005; Moraes et al., 2005; Costa & Moraes, 2006; Dalastra et al., 2011). O silício atua como agente indutor de resistência contra insetos-praga (Fawe et al.,

2001; Gomes et al., 2005; 2008; Costa et al., 2009; Massey & Hartley, 2009; Moraes et al. 2009; Reynolds et al., 2009; Pereira et al., 2010; Dalastra et al., 2011) e a silificação da epiderme pode impedir a penetração e a mastigação pelos insetos devido ao endurecimento da parede das células vegetais (Chérif et al., 1992; Datnoff et al., 2001; Ghanmi et al., 2004; Currie & Perry, 2007; Gomes et al., 2008). Porém a capacidade de absorção e acumulação de silício é variável entre as espécies. O tomateiro é uma planta não-acumuladora de silício (Ma et al., 2001), pois absorve pouco silício pelas raízes (Lana et al., 2003; Ma & Yamaji, 2006) e o aumento do nível deste elemento em folhas de tomate não é proporcional à sua disponibilidade no substrato (Pereira et al., 2003). Myake & Takahashi (1983) observaram que o modo de translocação do Si foi diferente entre espécies. Em tomateiro o Si foi retido nas raízes e não se translocou facilmente para a parte aérea, sendo a concentração nessa parte da planta de 0,5 a 2,4 g kg⁻¹ de Si, enquanto nas raízes foi de 16,7 a 28,6 g kg⁻¹. Ainda, plantas de arroz possuem mecanismos específicos de absorção de Si, em que proteínas de membranas são produzidas por expressão de gene específico (Ma & Takahashi, 2002), que facilitam a absorção e o transporte deste elemento através do xilema desta gramínea. Possivelmente, após absorvido via fluxo de massa, o Si fique retido no apoplasto das raízes do tomateiro, não sendo transportado pelo xilema até as partes aéreas da planta. Provavelmente, em função de o tomateiro ser uma planta não acumuladora de silício, não houve alteração na biologia e oviposição de *T. absoluta* nestes tratamentos.

Nos tratamentos onde o silício foi aplicado nas folhas do tomateiro (T5 ao T16), houve aumento do período larval e pupal, diminuição da sobrevivência de lagartas e pupas, diminuição do peso de pupas fêmeas e machos e menor preferência de oviposição de *T. absoluta*. Tais alterações podem ter ocorrido em razão do seu acúmulo e polimerização dos compostos silicatados na parede celular, aumentando a rigidez dos tecidos foliares e

dificultando a alimentação (Goussain et al., 2002) e/ou indução de liberação de moléculas de defesa (Goussain et al., 2005; Gomes et al., 2009; Kvedaras et al., 2009; Moraes et al., 2009). Diversos trabalhos onde o silício foi aplicado diretamente nas folhas das plantas, demonstraram diminuição na incidência de insetos devido às alterações na sua biologia (Goussain et al., 2002; Kvedaras et al., 2007; Almeida et al., 2008; Camargo et al., 2008; Almeida et al., 2009; Dalastra et al., 2011; Freitas et al., 2012) e preferência de oviposição (Camargo et al., 2008; Ferreira et al., 2011; Freitas et al., 2012), corroborando com os resultados deste estudo.

A eficiência de produtos contendo silício aplicados via foliar no controle de *T. absoluta*, provavelmente ocorre devido aos seus efeitos anti-alimentares para a fase larval dessa praga, agindo como ativador de resistência das plantas de tomate (Rodrigues et al., 2004; Côté-Beaulieu et al., 2009). Ainda, características físicas, morfológicas e químicas das plantas tratadas com silício podem alterar o comportamento dos insetos e interferir na sua biologia, levando a uma redução no *fitness* e oferecendo proteção para as plantas (Lara, 1991; Goussain et al., 2005).

O Agrosilício[®] (insolúvel em água) e o ácido silícico, aplicados via foliar, formam uma camada de sílica sobre a epiderme das folhas (Fernandes et al., 2009), o que pode ter dificultado a penetração das lagartas nas folhas e, conseqüentemente, a sua alimentação, afetando diretamente nos aspectos biológicos (aumento do período larval e pupal, diminuição da sobrevivência de larvas e pupas e diminuição do peso de pupas machos e fêmeas) e menor preferência de oviposição de *T. absoluta*.

Soluções são facilmente absorvidas pela cutícula das folhas, que apresenta microcanais e rupturas, inclusive a camada subestomática, altamente permeáveis à difusão de cátions e ânions, que permitem a passagem dessas soluções (Faquin, 2005).

Possivelmente, o Sili-K[®] aplicado em solução na superfície foliar, atravessa a cutícula e ocupa os espaços intercelulares e a superfície externa do plasmalema, ocupando inicialmente o apoplasto e, posteriormente, o simplasto foliares, para então acumular-se na forma de sílica amorfa nas paredes celulares pelo processo de transpiração. O Sili-K[®] (silício líquido solúvel) forma esta camada de sílica evidenciada pela polimerização do produto com compostos da cutícula (Fernandes et al., 2009).

Independente da dosagem dos produtos, nos tratamentos onde este elemento foi aplicado nas folhas, os efeitos causados nas lagartas de *T. absoluta* (aumento do período larval e pupal, diminuição da sobrevivência de lagartas e pupas e diminuição do peso de pupas machos e fêmeas) e no padrão de oviposição, foram semelhantes, o que significa que doses menores de produtos contendo silício são eficazes no controle de *T. absoluta*.

5 CONCLUSÃO

Nos tratamentos onde o silício foi aplicado nas folhas ocorreram aumentos na duração das fases larval e pupal, diminuição da sobrevivência de larvas e pupas, diminuição do peso de pupas macho e fêmea e as plantas foram menos preferidas para oviposição de *T. absoluta*, mostrando-se mais eficientes para o controle deste inseto.

Em sistemas de produção onde o silício é utilizado via foliar, os custos de produção do tomateiro podem ser diminuídos, além dos ganhos ambientais decorrentes da utilização em menor quantidade do adubo e da diminuição da utilização de agrotóxicos, pois, como mostraram os resultados deste estudo, independente da dose dos produtos utilizada nas folhas, os efeitos causados nas lagartas de *T. absoluta* e no padrão de oviposição foram semelhantes.

6 AGRADECIMENTOS

Universidade de Brasília (UnB), CAPES, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Laboratório de Controle Biológico (UFV), Professor Dr. Marcelo Coutinho Picanço (UFV), Laboratório de Entomologia Agrícola (UFV), Professor Dr. Tuneo Sedyama (UFV), Embapa Hortaliças, às empresas Unaprosil e Agronelli Insumos Agrícolas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida GD, Pratissoli D, Zanuncio JC, Vicentini VB, Holtz AM, Serrão JE. 2008. Calcium silicate and organic mineral fertilizer applications reduce phytophagy by *Thrips palmi* Karny (thysanoptera: thripidae) on eggplants (*Solanum melongena* L.). *Interciencia*, 33, 835-838.
- Almeida GD, Pratissoli D, Zanuncio JC, Vicentini VB, Holtz AM, Serrão JE. 2009. Calcium silicate and organic mineral fertilizer increase the resistance of tomato plants to *Frankliniella schultzei*. *Phytoparasitica*, 37, 225-230.
- Balastra MLFC, Perez CM, Juliano BO, Villreal P. 1989. Effects of sílica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hull. *Canadian Journal of Botany*, 67, 2356-2363.
- Basagli MAB, Moraes JC, Carvalho GA, Ecole CC, Gonçalves-Gervásio RCR. 2003. Effect of soduim silicate on the resistance of wheat plants to green-aphids *Schizaphis graminun* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 32, 659-663.
- Benvença SR, Fernandes AO, Gravena S. 2007. Tomada de decisão de controle da traça-do-tomateiro através de armadilhas com feromônio sexual. *Horticultura Brasileira* 25, 164-169.
- Camargo JMM, Moraes JC, Oliveira EB, Penteadó SRC, Carvalho RCZ. 2008. Efeito da aplicação do silício em plantas de *Pinus taeda* L., sobre a biologia e morfologia de *Cinara atlantica* (Wilson) (Hemiptera: Aphididae). *Ciencia e Agrotecnologia*, 32, 1767-1774.
- Chérif M, Menzies JG, Benhamou N, Bélanger RR. 1992. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 41, 371-385.
- Coelho MCF, França FH. 1987. Biologia, quetotaxia da larva e descrição da pupa e adulto da traça-do-tomateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 22, 129-135.
- Collavino MD, Gimenez RA. 2008. Efficacy of imidacloprid to control the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick). *Idesia*, 26, 65-72.
- Correa RSB, Moraes JC, Auad AM, Carvalho GA. 2005. Silicon and acibenzolar-s-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B. *Neotropical Entomology*, 34, 429-433.
- Costa RR, Moraes JC. 2002. Resistência induzida em sorgo por silicato de sódio e infestação inicial pelo pulgão-verde *Schizaphis graminum*. *Ecossistema*, 27, 37-39.
- Costa RR, Moraes JC. 2006. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-s-methyl na resistência de plantas de trigo ao *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 35, 834-839.

- Costa RR, Moraes JC, Costa RR. 2009. Interação silício-imidacloprid no comportamento biológico e alimentar de *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. *Ciência e Agrotecnologia*, 33, 455-460.
- Costa RR, Moraes JC, DaCosta RR. 2011. Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. *Journal of Applied Entomology*, 135, 115–120.
- Côté-Beaulieu C, Chain F, Menzies JG, Kinrade SD, Bélanger RR. 2009. Absorption of aqueous inorganic and organic silicon compounds by wheat and their effect on growth and powdery mildew control. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 155-161.
- Currie HA, Perry CC. 2007. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Annals of Botany*, 100, 1383-1389.
- Dalastra C, Campos AR, Fernandes FM, Martins GM, Campos ZR. 2011. Silício como indutor de resistência no controle do trips do prateamento *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoineiro. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 531-538.
- Daynadam P, Kaufman PB, Franklin CL. 1983. Detection of silica in plants. *American Journal of Botany*, 70, 1079-1084.
- Epstein E. 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology*, 50, 641–664.
- Epstein E, Bloom AJ. 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. Sinanuer Associates. 400p.
- Epstein E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology*, 155, 115-160.
- Faquin V. 2005. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras, UFLA, FAEP, 186p.
- Fawe A, Menzies JG, Cherif M, Bélanger RR. 2001. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff, L. E.; Snyder, G. H.; Korndorfer, G. H. (Eds.). *Silicon in Agriculture*. Amsterdam, 159-169.
- Fernandes ALT, Merrighi ALN, Silva GA, Fraga Júnior EFF. 2009. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. *FAZU em Revista*, 6, 11-52.
- Ferreira RS, Moraes JC, Antunes CS. 2011. Silicon influence on resistance induction against *Bemisia tabaci* biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) and on vegetative development in two soybean cultivars. *Neotropical Entomology*, 40, 495-500.
- França FH, Castelo Branco M. 1992. Ocorrência da traça-do-tomateiro (*Scrobipalpus absoluta*) em solanáceas silvestres no Brasil Central. *Horticultura Brasileira*, 10, 6-10.

França FH, Villas Bôas GL, Castelo Branco M, Medeiros MA. 2000. Manejo integrado de pragas. In: Silva JBC, Giordano LB. (Eds). Tomate para processamento industrial. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Embrapa Hortaliças, p.112-127.

Freitas LM, Junqueira AMR, Michereff Filho M. 2012. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em plantas de repolho. Revista Caatinga, 25, 8-13.

Ghanmi D, McNally DJ, Benhamou N, Menzies JG, Belanger RR. 2004. Powdery mildew of *Arabidopsis thaliana*: A pathosystem for exploring the role of silicon in plant-microbe interactions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 64, 189–199.

Giustolin TA, Vendramim JD, Parra JRP. 2002. Número de ínstares larvais de *Tuta absoluta* (Meyrick) em genótipos de tomateiro. *Scientia Agricola*, 59, 393-396.

Gomes FB, Moraes JC, Santos CD, Goussain MM. 2005. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola*, 62, 547–551.

Gomes FB, Moraes JC, Assis GA. 2008. Silício e imidacloprid na colonização de plantas por *Myzus persicae* e no desenvolvimento vegetativo de batata inglesa. *Ciência Rural*, 38, 1209-1213.

Gomes FB, Moraes JC, Neri DKP. 2009. Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. *Ciência e Agrotecnologia*, 33, 18-23.

Gomide EVA, Vilela EF, Picanço M. 2001. Comparação de procedimentos de amostragem de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em tomateiro estaqueado. *Neotropical Entomology*, 30, 697-705.

Goussain MM, Moraes JC, Carvalho J, Nogueira NL, Rossi NL. 2002. 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*, 3, 306-310.

Goussain MM, Prado ME, Moraes JC. 2005. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behavior of the *Greenbug Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 34, 807-813.

Hagen KS, Dadd RH, Reese J. 1984. The food of insects. In: *Ecological methodology*, Huffaker CB, Rabb RL, (eds.), J.Wiley & Sons, 79-112.

Haji FNP. Aspectos biológicos da traça do tomateiro e seu controle. Petrolina: EMBRAPA, CPATSA, 1984. 2p. (Comunicado Técnico, 13).

Haji FNP, Parra JRP, Silva JP, Batista JGS. 1988. Biologia da traça-do-tomateiro sob condições de laboratório. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 23, 107–110.

Jones LHP, Handreck KA. 1967. Silica in soils, plants and animals. *Advances in Agronomy*, 19, 107-149.

Juliatti FC, Korndörfer GH. 2003. Uso do Silício no manejo integrado de doenças de plantas experiência brasileira. *Fitopatologia Brasileira*, 28, 45-52.

Korndörfer GH, Pereira HS, Nolla A. 2004. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, 34p.

Korndörfer GH. 2006. Elementos benéficos. In: Fernandes MS (ed.). *Nutrição Mineral de Plantas*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 355-374.

Korndörfer AP, Grisoto E, Vendramim JD. 2011. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. *Neotropical entomology*, 40, 387-392.

Kvedaras OL, Keeping MG, Goebel FR, Byrne MJ. 2007. Water stress augments silicon-mediated resistance of susceptible sugarcane cultivars to the stalk borer *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae). *Bulletin of Entomological Research*, 97, 175–183.

Kvedaras OL, Byrne MJ, Coombes NE, Keeping MG. 2009. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. *Agricultural and Forest Entomology*, 11, 301–306.

Lana RMQ, Kornodorfer GH, Zanão LA, Silva AF, Lana AMQ. 2003. Effects of calcium silicate on the productivity and silicon accumulation in the tomato plant. *Bioscience Journal*, 19, 15–20.

Lara FM. 1991. *Princípio de resistência de plantas a insetos*. 2. São Paulo, Ed.Ícone, 336p.

Ma JF, Miyake Y, Takahashi E. 2001. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: *Silicon in Agriculture*. Datnoff, L. E., Korndörfer, G. H., Snyder, G (Eds). Elsevier science, 17-39.

Ma JF, Takahashi E. 2002. *Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan*. Amsterdam, Eslsevier Science. 281p.

Ma JF, Yamaji N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Plant Science*, 11, 392–397.

Massey FP, Ennos AR, Hartley SE . 2006. Silica in grasses as a defence against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. *Journal of Animal Ecology*, 75 , 595-603.

Massey FP, Hartley SE. 2009. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. *Journal of Animal Ecology*, 78, 281–291.

- Medeiros MA, Villas Boas GL, Carrijo OA, Makishima N, Vilela NJ. 2005. Manejo integrado da traça-do-tomateiro em ambiente protegido. Embrapa hortaliças, Circular Técnica, 36. 10p.
- Medeiros MA, Sujii ER, Rasi GC, Liz RS, Morais HC. 2009. Padrão de oviposição e tabela de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae). Revista Brasileira de Entomologia, 53, 452–456.
- Medeiros MA, Sujii ER, Morais, HC. 2011. Fatores de mortalidade na fase de ovo de *Tuta absoluta* em sistemas de produção orgânica e convencional de tomate. Bragantia, 70, 72-80.
- Michereff Filho M, Vilela EF, Jham NG, Attygalle A, Svatoš A, Meinwald J. 2000. Initial studies of mating isruption of the tomato moth, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) using synthetic sex pheromon. Journal of the Brazilian Chemical Society, 11, 621-628.
- Michereff Filho M, Vilela EF. 2001. Traça-do-tomateiro, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). In: Vilela EF, Zucchi RA, Cantor F. (Eds). Histórico e impacto das pragas introduzidas no Brasil. Ribeirão Preto: Holos. 81-84.
- Moraes JC, Goussain MM, Carvalho GA, Costa RR. 2005. 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, 29, 761-766.
- Moraes JC, Ferreira RS, Costa RR. 2009. Indutores de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn., 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja. Ciência e Agrotecnologia, 33, 1260-1264.
- Myake Y, Takahashi E. 1983. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. Soil Science and Plant Nutrition, 29, 71-83.
- Nolla A, Konrdörfer GH, Arruda DG. 2004. Eficiência de silicato de cálcio e calcário no controle de *Cercospora sojina* na cultura da soja. In: III Simpósio sobre silício na agricultura, Uberlândia. Resumos expandidos Uberlândia: Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura (CD ROM).
- Peralta IE, Knapp S, Spooner DM. 2006. Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. Tomato Genetics Cooperative Report, 56, 6-12.
- Pereira HS, Vitti GC, Korndorfer GH. 2003. Behavior of different silicon sources in the soil and in tomato crop. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27, 101–108.
- Pereira RRC, Moraes JC, Prado E, Dacosta RR. 2010. Resistance inducing agents on the biology and probing behaviour of the greenbug in wheat. Scientia Agricola, 67, 430-434.
- Postek MT. 1981. The occurrence of sílica in leaves of *Magnolia grandiflora*. Botanical Magazine, 142, 124-134.

- Pratissoli D, Parra JRP, Fernandes OAR, Oliveira C, Zago HB, Pereira FF. 2003. Oviposition pattern of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on tomato under different population densities in greenhouse. *Agro-ciência*, 19, 11–15.
- Reynolds OL, Keeping MG, Meyer JH. 2009. Silicon augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. *Annual Applied Biology*, 155, 171–186.
- Ribeiro AC, Guimarães PTG. 1999. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para uso de corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa: UFV. 359p.
- Rodrigues FA, McNally DJ, Datnoff LE, Jones JB, Labbé C, Benhamou N, Menzies JG, Bélanger RR. 2004. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexin in Rice: a potential mechanism for blast resistance. *Phytopathology*, 94, 177-183.
- Santos AB, Prabhu AS, Ferreira E, Fageria NK. 2009. Fertilização silicatada na severidade de brusone e na incidência de insetos-praga em arroz irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13, 537-543.
- Savant NK, Korndorfer GH, Datnoff LE, Snyder GH. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 22, 1853–1903.
- Scott AJ, Knott M. 1974. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30, 507-512.
- Silva VF, Moraes JC, Melo BA. 2010. Influence of silicon on the development, productivity and infestation by insect pests in potato crops. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 1465-1469.
- Silva GA, Picanço, MC, Bacci L, Crespo ALB, RosadoJF, Guedes RN. 2011. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *Pest Management Science*, 67, 913-920.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanço MC. 2000a. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 2,147-153.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanço MC. 2000b. Cartap resistance and synergism in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology*, 124, 233-238.
- Sommer M, Kaczorek D, Kuzyakov Y, Breuer J. 2006. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes: a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 310-329.
- Suinaga FA, M Picanço, GN Jham, SH Brommonschenkel. 1999. Causas químicas de resistencia de *Lycopersicum peruvianum* (L.) a *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 28, 313-321.

Thomazini APBW, Vendramim JD, Brunherotto R, Lopes MTR. 2001. Efeito de Genótipos de Tomateiro sobre a Biologia e Oviposição de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep.: Gelechiidae). *Neotropical Entomology*, 30, 283-288.

Torres JB, Faria CA, Evangelista WS, Pratissoli D. 2001. Within-plant distribution of the leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) immatures in processing tomatoes, with notes on plant phenology. *Integrated Journal Pest Management*, 47, 173–178.

Vianna UR, Pratissoli D, Zanuncio JC, Lima ER, Brunner J, Pereira FF, Serrão JE. 2009. Insecticide toxicity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) females and effects on descendent generation. *Ecotoxicology* 18, 180-186.

Zanuncio TV, Serrão JE, Zanuncio JC, Guedes RNC. 2003. Permethrin-induced hormesis on the predator *Supputius cincticeps* (Stal, 1860) (Heteroptera: Pentatomidae). *Crop Protection*, 22, 941–947.

Tabela 1. Tratamentos utilizados para avaliar o efeito de silício sobre a biologia e não-preferência para oviposição de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).

TRATAMENTOS	PRODUTO	QUANTIDADE	
		t ha ⁻¹ de Si	g de Agrosilício [®] /vaso de 3 litros
T1	Agrosilício [®] Solo	0,45	13,5
T2		0,9	27,0
T3		1,35	40,5
T4		1,8	54,0
		t ha ⁻¹ de Si /aplicação	g de Agrosilício [®] /planta/aplicação em 250ml de água destilada
T5	Agrosilício [®] Foliar	0,5	71,25
T6		1,0	142,5
T7		1,5	213,75
T8		2,0	285,0
		l ha ⁻¹ /aplicação	ml de Sili - K [®] /planta/aplicação em 250ml de água destilada
T9	Sili-K [®] Foliar	0,5	0,015
T10		1,0	0,030
T11		2,0	0,060
T12		3,0	0,090
		% de ácido silícico/aplicação	g de ácido silícico/planta/aplicação em 250ml de água destilada
T13	Ácido Silícico Foliar	0,5	1,25
T14		1,0	2,5
T15		2,0	5,0
T16		3,0	7,5

		% de ácido silícico /aplicação	g de ácido silícico/vaso/aplicação em 250ml de água destilada
T17		0,25	1,25
T18	Ácido Sílicico	0,50	2,5
T19	Solo (%)	0,75	5,0
T20		1,0	7,5
T21	CONTROLE	0	0

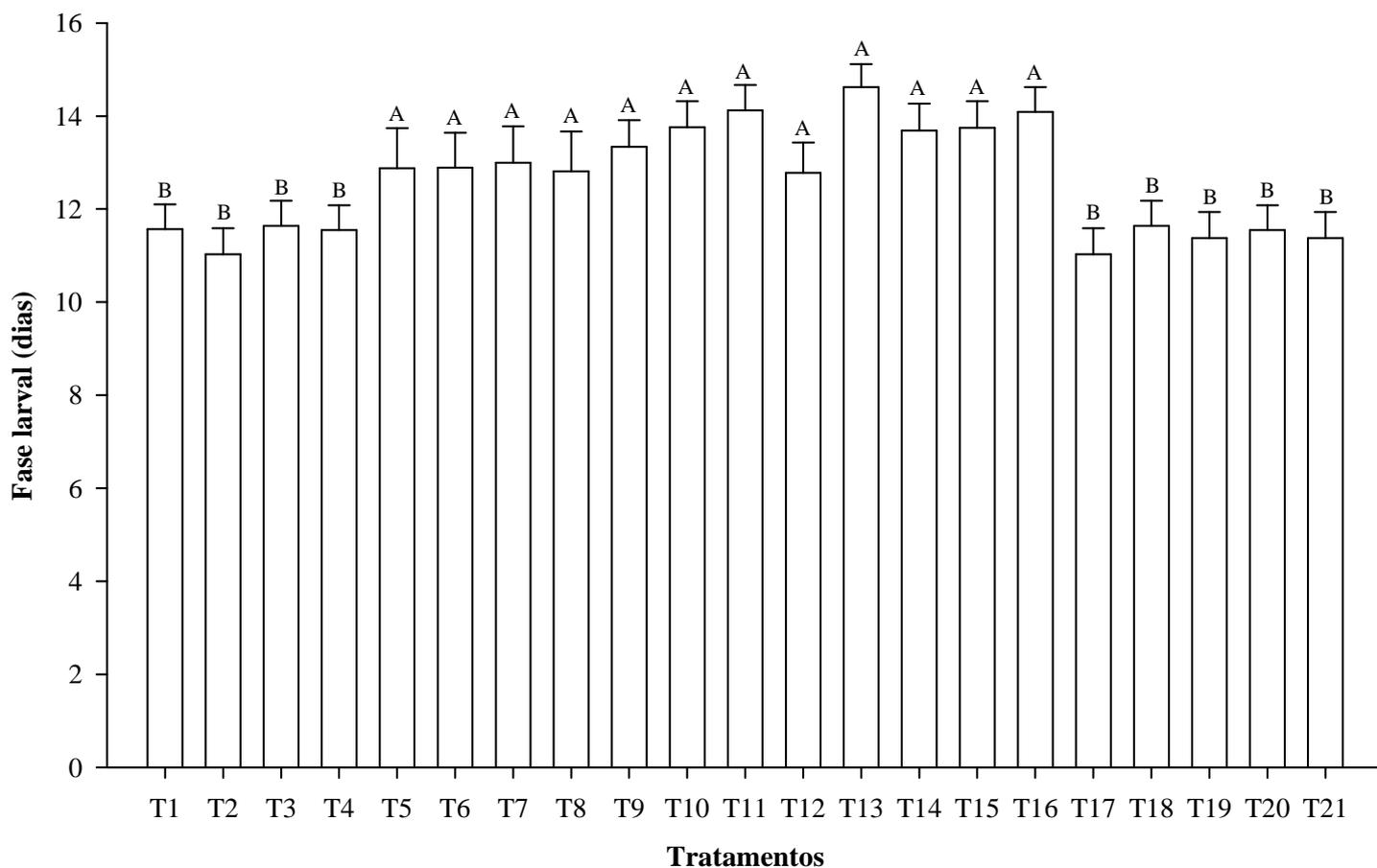


Figura 1. Duração da fase larval (dias) (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (l ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

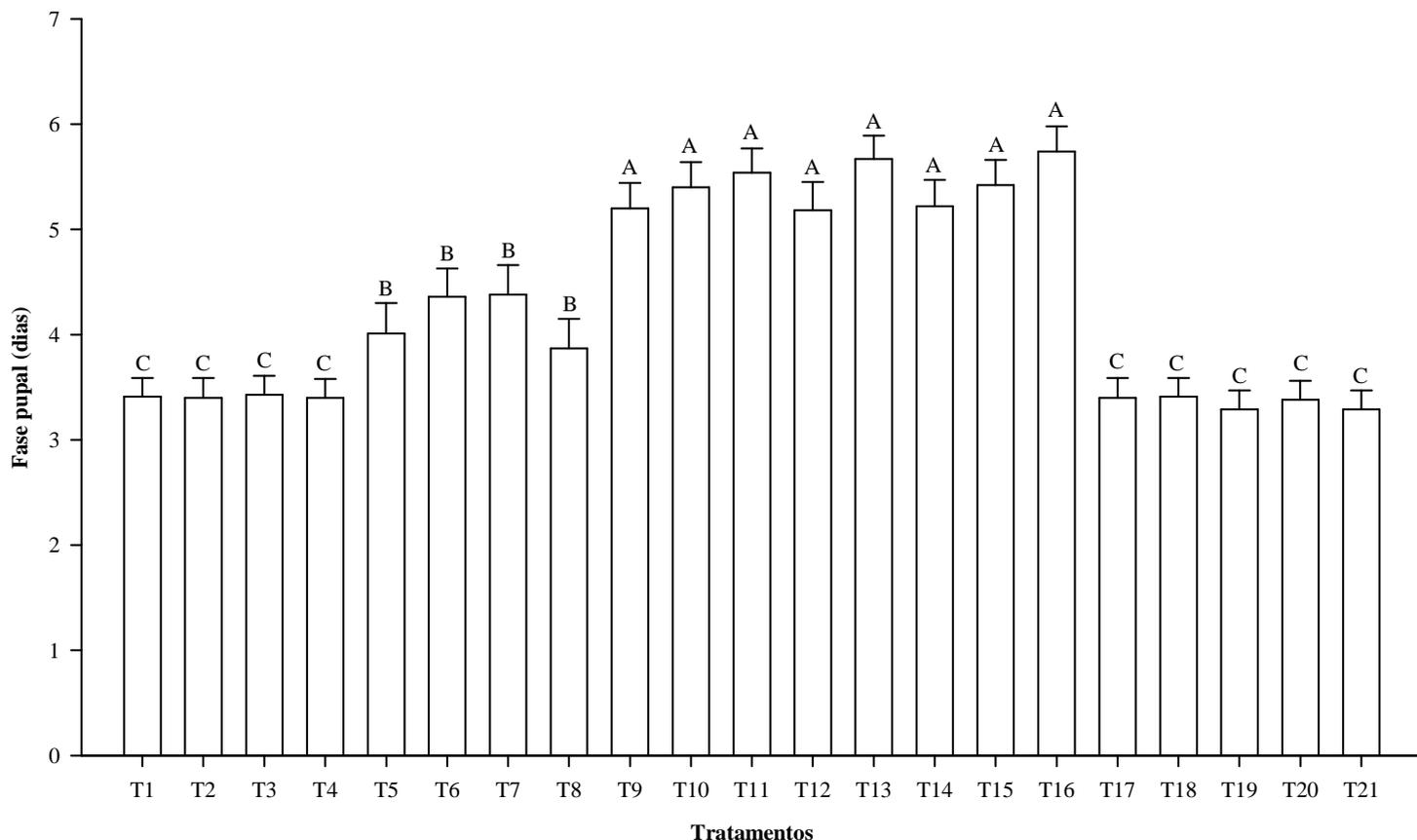


Figura 2. Duração da fase pupal (dias) (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

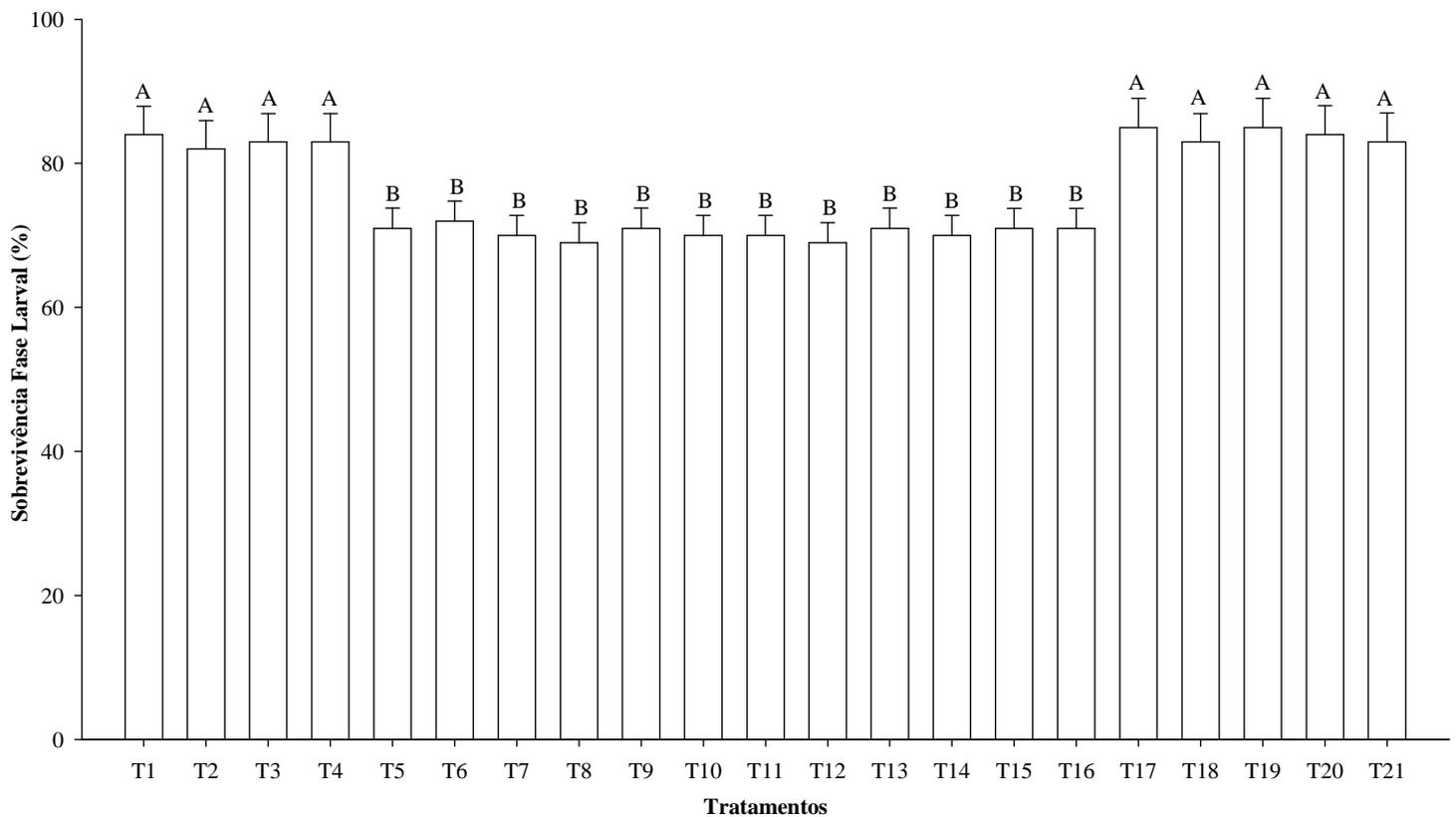


Figura 3. Sobrevivência da fase larval (%) (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (l ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

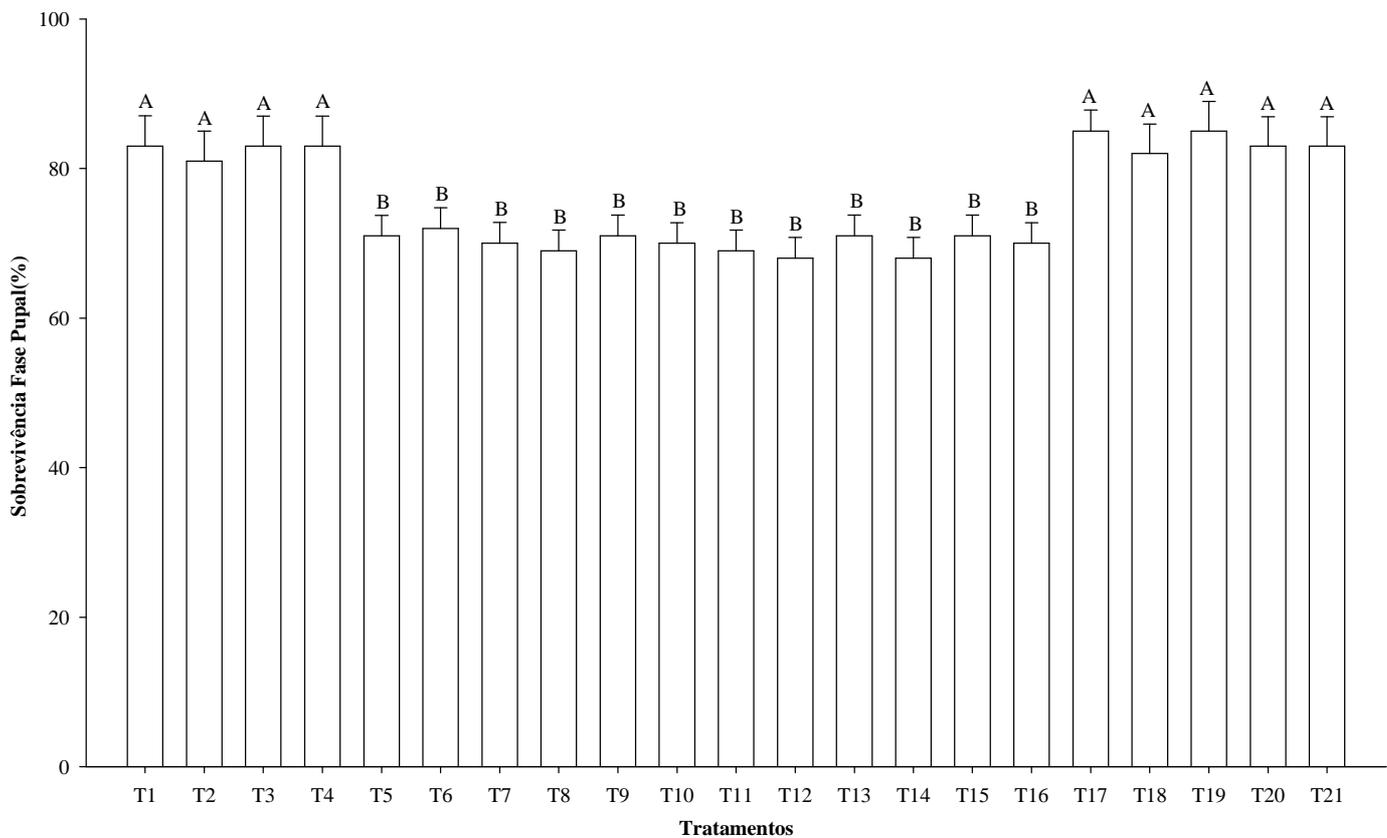


Figura 4. Sobrevivência da fase pupal (%) (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (l ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

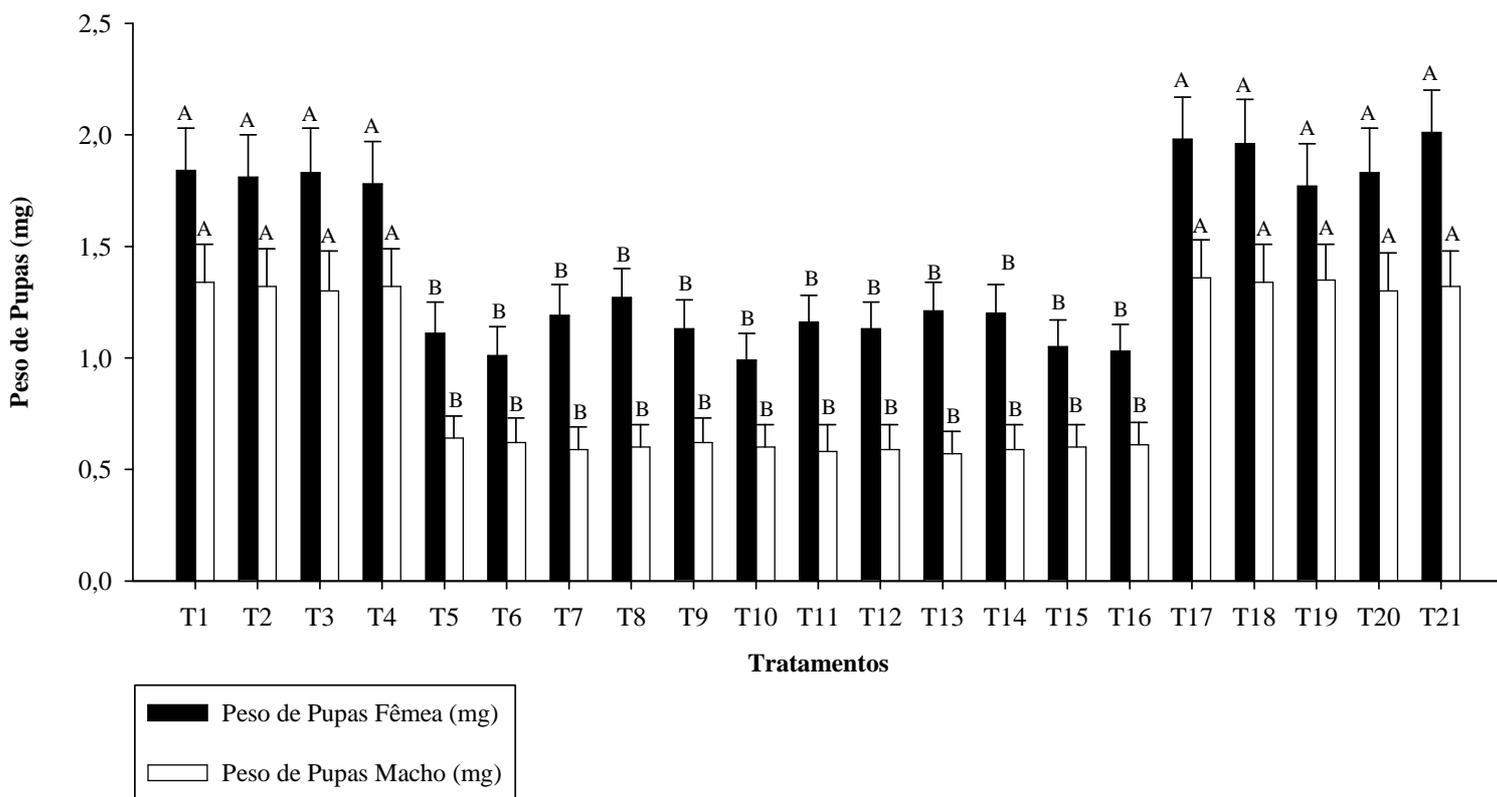


Figura 5. Peso de pupas fêmea e macho (mg) (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

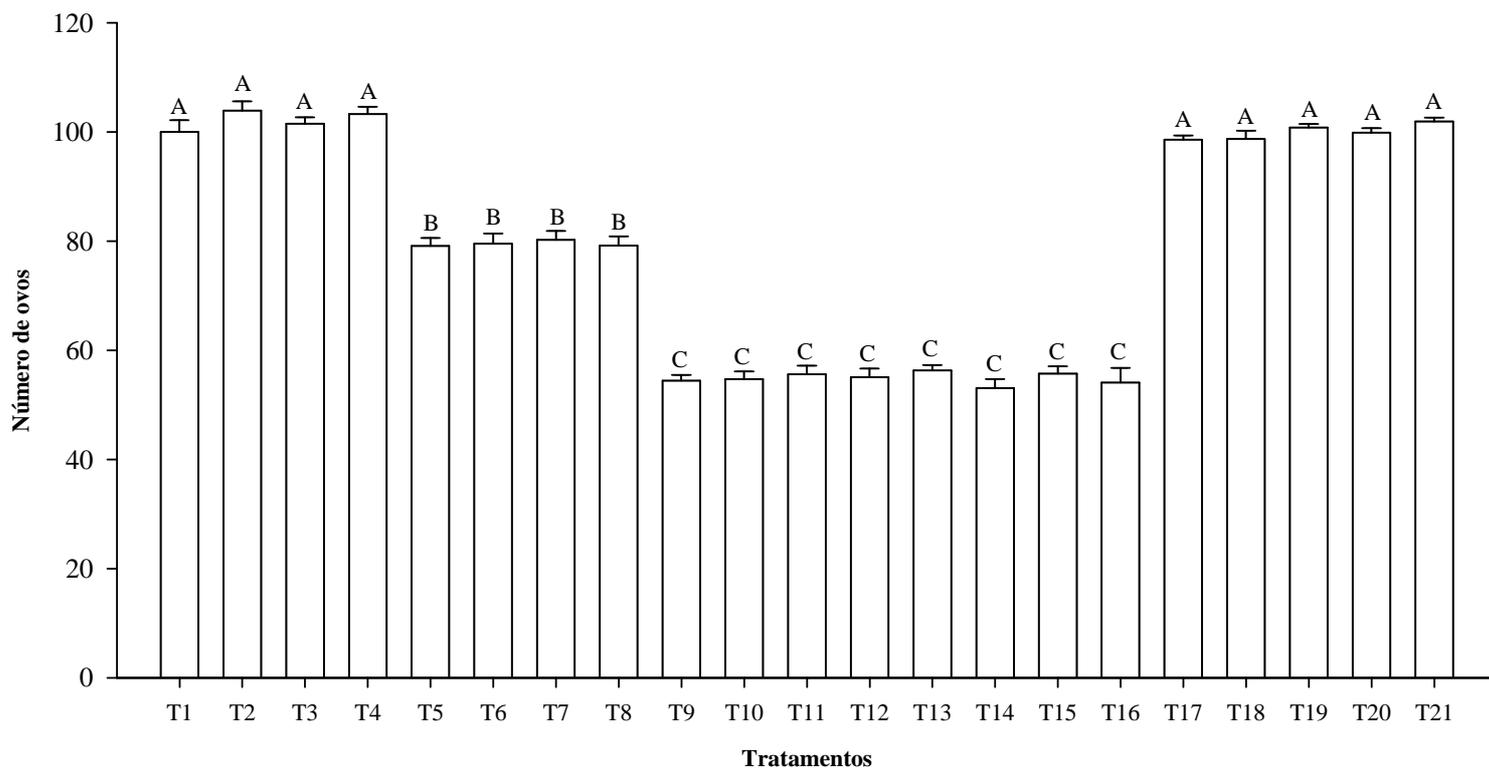


Figura 6. Número de ovos (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em testes com chance de escolha para oviposição, em função dos tratamentos [(Agrosilício® solo ($t\ ha^{-1}$ de SiO_2) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício® foliar ($t\ ha^{-1}$ de SiO_2) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K® ($1\ ha^{-1}$ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO_2) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO_2) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

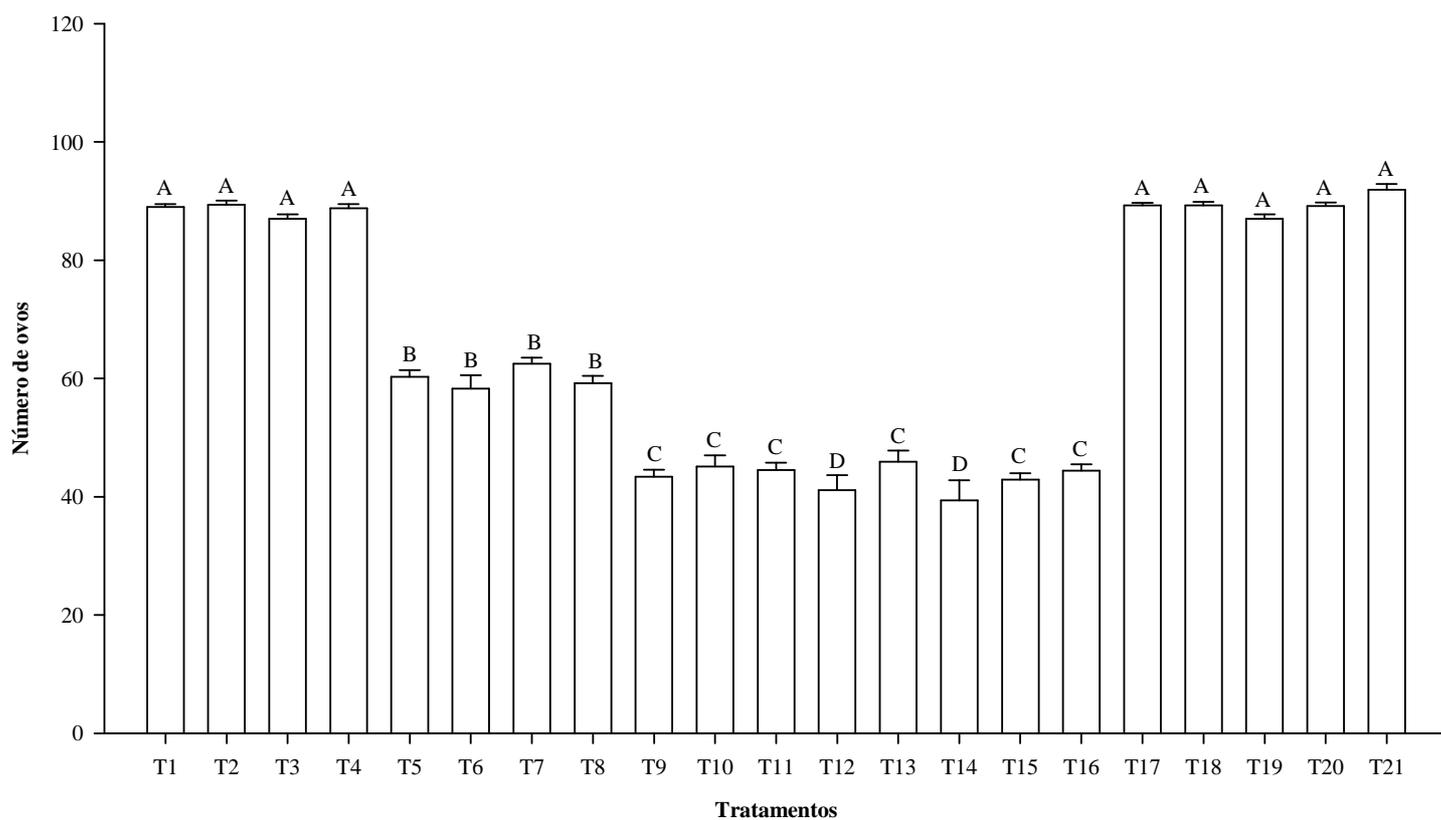


Figura 7. Número de ovos (média \pm erro padrão) de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em testes sem chance de escolha para oviposição, em função dos tratamentos [(Agrosilício[®] solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. Colunas com mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

CAPÍTULO II

**EFEITO DO SILÍCIO SOBRE
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE
Tuta absoluta (MEYRICK) (LEPIDOPTERA:
GELECHIIDAE) DESENVOLVENDO-SE EM
TOMATEIRO.**

RESUMO

Efeito do silício sobre características morfológicas de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) desenvolvendo-se em tomateiro.

A tecnologia baseada no uso do silício é limpa e sustentável, com potencial para diminuir o uso de agrotóxicos, mantendo a qualidade dos frutos e protegendo o ambiente. Este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações na morfologia do intestino médio e da mandíbula de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) causadas pela alimentação em plantas de tomate com diferentes compostos contendo silício. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco repetições, sendo vinte e um tratamentos, incluindo a testemunha [(Agrosilício[®] no solo (t ha⁻¹ de SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício[®] foliar (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K[®] (1 ha⁻¹ do produto) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Ácido silícico foliar (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Ácido silícico no solo (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); controle (T21)]. A histologia do intestino médio de lagartas de quarto ínstar foi analisada. As mandíbulas de todos os estádios larvais foram dissecadas e processadas para análise em microscópio eletrônico de varredura. Não foram observadas alterações na morfologia das mandíbulas das lagartas de *T. absoluta* alimentadas com silício comparadas ao grupo controle. Lagartas de *T. absoluta* provenientes do grupo controle e dos tratamentos onde o silicato de cálcio foi aplicado ao solo não mostraram diferenças na morfologia das células do epitélio do intestino médio, que foi formado por uma camada única de células onde quatro tipos celulares puderam ser identificados: células colunares, caliciformes, regenerativas e micetócitos. Em lagartas de *T. absoluta* obtidas dos tratamentos à base de silício aplicado via foliar, o epitélio digestivo

médio apresentou descolamento da membrana basal, o que pode caracterizar o possível efeito antialimentar deste elemento para lagartas de *T. absoluta*.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, *Tuta absoluta*, silício, morfologia interna, manejo integrado de pragas.

ABSTRACT

Effect of silicon on the morphological characteristics of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) developing in tomato plants.

The technology based on the use of silicon is clean and sustainable, with the potential to reduce pesticide use, keeping fruit quality and protecting the environment. This study evaluated changes in the morphology of the midgut and mandibles of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae caused by feeding on tomato plants with different compounds containing silicon. The experimental design was randomized blocks with five replicates, twenty one treatments, including control [(Agrosilício® soil (t ha⁻¹ of SiO₂) - T1 0,45; T2 0,90; T3 1,35; T4 1,80); (Agrosilício® leaves (t ha⁻¹ de SiO₂) - T5 0,5; T6 1,0; T7 1,5; T8 2,0); (Sili-K® (1 ha⁻¹ of product) - T9 0,5; T10 1,0; T11 2,0; T12 3,0); (Silicic Acid Leaves (% de SiO₂) - T13 0,5; T14 1,0; T15 2,0; T16 3,00); (Silicic Acid soil (% de SiO₂) - T17 0,5; T18 1,0; T19 2,0; T20 3,00); control (T21)]. The histology of the midgut of fourth instar larvae was analyzed. The mandibles of all larval instars were dissected and processed for scanning in electron microscope. There were no changes in the morphology of the mandibles of *T. absoluta* fed with silicon compared to the control group. *T. absolute* larvae from the control group and treatments where the calcium silicate was applied to the soil showed no differences in cell morphology of the epithelium of midgut, which was formed by a single layer of cells where four cell types could be identified: columnar cells, goblet, regenerative, and mycetocytes. However, in *T. absoluta* larvae obtained from leaf application silicon-based treatments, the medium digestive epithelium showed detachment of the basement membrane, which can characterize the possible deterrent effect of this element to *T. absoluta* larvae.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Tuta absoluta*, silicon, internal morphology, integrated pest management

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum*) é extensamente cultivado no mundo sendo um dos vegetais mais produzidos no Brasil, que atualmente está entre os dez maiores produtores mundiais (Agrianual, 2011). A cultura do tomate no Brasil está em expansão e modernização, buscando maior produtividade e qualidade para atender às demandas do mercado, gerando assim maior preocupação com o controle de pragas (Leite et al., 2001; Vivan et al., 2002) que podem causar reduções substanciais na qualidade dos frutos (Miranda et al., 1998; Kennedy, 2003; Mahanil et al., 2008).

A traça-do-tomateiro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), que ataca folhas e flores causando minas e perfurando os frutos (França et al., 2000; Medeiros et al., 2009) durante todo ciclo do tomateiro (Giustolin et al., 2002), destaca-se como inseto-praga mais importante desta cultura e tem sido controlado através de múltiplas aplicações de inseticidas (Siqueira et al., 2000a; Benvenga et al., 2007; Collavino & Gimenez, 2008). No entanto, o uso freqüente desses produtos químicos pode ser prejudicial para o controle biológico natural, além de gerar a produção de alimentos com altos níveis de resíduos tóxicos, contaminação ambiental e risco de seleção de insetos resistentes (Siqueira et al., 2000b; Almeida et al., 2009; Vianna et al., 2009).

O intestino médio dos insetos é o principal órgão onde a digestão e absorção ocorrem (Dow, 1986; Lehane & Billingsley, 1996). A parede do intestino médio dos insetos apresenta três camadas: duas camadas musculares e um epitélio de revestimento formado por uma camada única de células que, na maioria dos insetos, apresenta três tipos celulares: colunares, regenerativas e endócrinas, embora em Lepidoptera um quarto tipo, células caliciformes, seja comumente encontrado (Lehane & Billingsley, 1996), sendo a

superfície do epitélio revestida por uma membrana acelular, a membrana ou matriz peritrófica (Lehane & Billingsley, 1996; Terra, 2001).

Em lagartas de Lepidoptera, a membrana peritrófica é secretada no intestino médio pelas células colunares (De Priester, 1971; Terra, 1988; Hopkins & Harper, 2001). Esta membrana, ainda que impeça o contato direto do alimento com as células colunares, permite a passagem de enzimas digestivas na direção do lúmen do intestino médio e a absorção dos produtos resultantes da digestão que são posteriormente eliminados com as fezes (Lehane & Billingsley, 1996), evitando danos mecânicos, dificultando ou impedindo a entrada de patógenos e compartimentando o processo de digestão (Terra 1988; 2001). As células colunares são as mais abundantes e são responsáveis pela produção de enzimas e a absorção dos produtos da digestão (Lehane & Billingsley, 1996). Células caliciformes estão envolvidas no processo de homeostase e absorção de metabólitos, uma função realizada em conjunto com as células colunares (Lehane & Billingsley, 1996; Chapman, 1998; Terra et al., 2006). As células regenerativas são observadas isoladamente, em pares ou formando grupos, localizadas na base do epitélio e tem como função fazer a renovação das células epiteliais (Dow, 1986; Cruz-Landim et al., 1996; Cavalcante & Cruz-Landim, 1999). As células endócrinas estão localizadas na base do epitélio e são caracterizadas pela presença de uma grande quantidade de grânulos citoplasmáticos, sendo produtoras de peptídeos hormonais (Sehnal & Zitnan, 1996; Serrão & Cruz-Landim, 1996; Neves et al., 2002).

Os métodos de controle utilizados em programas de Manejo Integrado de Pragas visam reduzir ou utilizar inseticidas compatíveis com os inimigos naturais (Zanuncio et al., 2003). Embora o silício não seja essencial para a maioria das plantas (Epstein, 1999; Savant et al., 1999; Epstein & Bloom, 2005), a aplicação de silicatos tem aumentado a resistência das plantas às pragas, principalmente pela sua capacidade de acumulação na parede celular

(Korndörfer et al., 2004; Costa & Moraes, 2006), aumentando assim a síntese de compostos fenólicos e lignina (Chérif et al., 1992; Ghanmi et al., 2004; Currie & Perry, 2007; Gomes et al., 2008), além de ativar as defesas químicas endógenas das plantas (Gomes et al., 2005). O uso de silicatos no controle de insetos desfolhadores ocorre devido à ação da barreira mecânica proporcionada pela deposição deste mineral na parede celular das folhas (Goussain et al., 2002; Massey et al., 2006; Kvedaras et al., 2009; Ferreira et al., 2011). Lagartas de insetos que se alimentam de plantas tratadas com silicato de cálcio apresentam acentuado desgaste da região incisora das mandíbulas, afetando a alimentação e o desenvolvimento destes (Goussain et al., 2002; Kvedaras et al., 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do silício na morfologia do intestino médio e da mandíbula da traça-do-tomateiro *T. absoluta*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Plantio, delineamento experimental e tratamentos

O plantio das mudas de tomateiro, variedade Tospodoro, obtidas na EMBRAPA Hortaliças, Brasília, DF, foi feito em casa de vegetação, em agosto de 2011 na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

As parcelas experimentais foram plantas de tomateiro cultivadas em vasos de polietileno com volume de três litros, contendo uma planta em cada vaso, com adubação de plantio contendo nitrogênio (600 kg ha^{-1} de sulfato de amônio), fósforo (3300 kg ha^{-1} de superfosfato simples) e potássio (330 kg ha^{-1} de cloreto de potássio), cujas quantidades foram calculadas em função da análise do solo e recomendação de Ribeiro & Guimarães (1999).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com cinco repetições, sendo vinte tratamentos e o controle (sem adição de qualquer composto contendo silício) (Tabela 1).

Foram testados três compostos como fontes de silício [Agrosilício[®] (22,4% de SiO_2), Sili-k[®] (12,2% Si) e ácido silícico (100% SiO_2)] em quatro doses cada um.

O Agrosilício[®] foi adicionado ao solo juntamente com a adubação de plantio, visando a elevação da saturação por bases para 70%, na dosagem de 100% de SiO_2 (Ribeiro & Guimarães, 1999), visto que este produto possui efeito corretivo (Sommer et al., 2006). A partir deste valor foram calculadas as demais dosagens de 50%, 150% e 200% de SiO_2 .

O Agrosilício[®] foi aplicado semanalmente via pulverização foliar nos tratamentos T5 ao T8 (250 ml de solução) nas dosagens de 50%, 100%, 150% e 200% de SiO_2 , tendo

como base a dosagem de 100%, correspondente a 1 tonelada de SiO₂ por hectare (Costa et al., 2009).

O produto Sili-K[®] foi aplicado (250 ml da solução), por pulverização, apenas via foliar, de acordo com a recomendação do fabricante, nas dosagens de 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 l ha⁻¹ do produto, semanalmente, nos tratamentos T9 ao T12, uma vez que não se encontra disponível para aplicação no solo.

A aplicação de 250 ml de solução de ácido silícico a 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0% de SiO₂ (Camargo et al., 2008; Costa et al., 2009) foi realizada, semanalmente, tanto via foliar (T13 ao T16) como no solo em torno das hastes das plantas (T17 ao T20) na dosagem correspondente a 1 tonelada de SiO₂ por hectare (Costa et al., 2009).

A primeira aplicação foliar destes produtos foi feita trinta dias após o plantio dos tomates, totalizando três aplicações em intervalos semanais. A testemunha (T21) recebeu apenas água destilada.

As plantas tratadas com Agrosilício[®] (foliar), Sili-k[®] e ácido silícico (solo e foliar) tiveram o solo corrigido com calcário dolomítico (0,8 t ha⁻¹) com objetivo de elevar a saturação por bases para 70%.

2.2 Liberação dos ovos de *T. absoluta*

Folhas de tomateiro com posturas de *T. absoluta* de mesma idade, provenientes da criação do Laboratório de Entomologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, foram seccionadas para que contivessem, aproximadamente, 30 ovos. Cada uma dessas áreas seccionadas foi fixada com auxílio de alfinete em um dos ramos da planta de tomateiro e acondicionada em sacos de organza de 40 x 70 cm envolvendo toda a planta de tomate, que foi tutorada para permanecer ereta. Para que as plantas absorvessem o produto e estivessem

com as folhas secas, os ovos foram liberados sete dias após a última aplicação foliar dos produtos contendo silício.

2.3 Morfologia do intestino médio de *T. absoluta*

Para avaliar o efeito do silício sobre o intestino médio de *T. absoluta*, três lagartas de quarto instar obtidas de cada tratamento foram coletadas e transferidas para frascos contendo 2 mL de solução fixadora de Zamboni (Stefanini et al., 1967). A seguir, os intestinos médios de *T. absoluta* foram dissecados em solução fisiológica para insetos (0,1 M de NaCl + 0,1M de KH_2PO_4 + 0,1M de Na_2HPO_4), desidratados em série crescente de etanol (70, 80, 90 e 95%) e embebidos em historesina JB-4[®] por 24 horas.

As amostras foram seccionadas com 5 μm de espessura, coradas com hematoxilina e eosina, analisadas e fotografadas em fotomicroscópio.

2.4 Morfologia das mandíbulas de *T. absoluta*

Para avaliar o efeito do silício sobre o desgaste das mandíbulas de *T. absoluta* em seus quatro estádios, a cada 12 horas, duas lagartas por planta foram recolhidas e acondicionadas em frascos contendo 2 mL de solução fixadora de Zamboni. As lagartas escolhidas para retirada das mandíbulas foram aquelas coletadas antes da mudança de estágio, observando-se o tamanho da cápsula cefálica (Giustolin et al., 2002), para garantir maior exposição aos tratamentos.

Três mandíbulas de cada estágio de lagartas de *T. absoluta* pertencentes a cada tratamento foram removidas, desidratadas em série crescente de etanol (70, 80, 90 e 95%), transferidas para HMDS (Hexamethyldisilazane) por cinco minutos e após a secagem ao ar, as mandíbulas foram metalizadas com ouro (20 nm) e analisadas em microscópio eletrônico

de varredura LEO VP 1430 no Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa.

3 RESULTADOS

Lagartas de *T. absoluta* apresentaram o epitélio formado por uma camada única de células onde quatro tipos celulares puderam ser identificados: as células colunares, caliciformes, regenerativas e micetócitos (Figuras 1 a 5).

As células colunares mostraram-se finas cujo ápice apresentou uma borda estriada bem desenvolvida e o citoplasma contendo inúmeros vacúolos (Figuras 2 e 4). Na porção mediana destas células foi encontrado um núcleo oval com predomínio de cromatina descondensada (Figura 1).

As células caliciformes foram caracterizadas por uma cavidade formada pela invaginação da superfície destas células que apresentaram núcleo basal (Figura 1).

As células regenerativas foram pequenas, nunca atingindo o lúmen do intestino médio, contendo um núcleo relativamente grande em relação ao citoplasma, estando espalhadas por entre a base das células colunares e caliciformes de forma isolada ou formando ninhos de no máximo três células (Figuras 1 e 3).

Ao longo de todo o epitélio do intestino médio de *T. absoluta* foram encontradas células colunares grandes e globulares com núcleo esférico bem desenvolvido, que mostraram em seu citoplasma pequenas partículas basofílicas semelhantes a micetócitos. Estas células mostraram borda estriada apical relativamente curta quando comparada com àquela presente nas células colunares sem estas estruturas em seu citoplasma (Figura 5).

Delimitando o lúmen do intestino médio, foi encontrada uma membrana peritrófica bem desenvolvida (Figuras 1 a 5).

O epitélio do intestino médio foi assentado sobre uma membrana basal de aspecto homogêneo (Figura 1).

Lagartas de *T. absoluta* pertencentes ao grupo controle e aos tratamentos onde o silicato de cálcio foi aplicado no solo, não mostraram diferenças na organização estrutural do intestino médio daquela descrita acima.

Lagartas de *T. absoluta* obtidas dos tratamentos à base de silício aplicados via foliar apresentaram alterações na morfologia do intestino médio, sendo observado o descolamento do epitélio digestivo da membrana basal (Figuras 1 a 3), além da presença de protruções citoplasmáticas de conteúdo fortemente basófilo, algumas contendo o núcleo da célula, que são liberadas para o lúmen do ventrículo, similares a corpos apoptóticos (Figuras 1 e 2).

As lagartas de *T. absoluta* provenientes de todos os tratamentos, incluindo o grupo controle, apresentaram seis dentes em suas mandíbulas, sem variação no número ou forma destes dentes, além de não apresentarem sinais de danos na sua estrutura do primeiro ao quarto ínstar (Figuras 6 e 7).

4 DISCUSSÃO

A eficiência de produtos contendo silício no controle de *T. absoluta* tem sido sugerida ocorrer devido aos seus efeitos anti-alimentares para a fase larval dessa praga, agindo como ativador de resistência das plantas de tomate (Rodrigues et al., 2004; Côté-Beaulieu et al., 2009; Ferreira et al., 2011). Entretanto, até a presente data não havia estudos que comprovassem este mecanismo de ação do silício no intestino de insetos, que é acumulado em maiores concentrações na forma de sílica nos tecidos foliares de plantas atacadas por insetos (Costa & Moraes, 2002; Basagli et al., 2003; Correa et al., 2005; Gomes et al., 2005; Moraes et al., 2005).

Neste trabalho foi observado que não houve diferença na organização estrutural do epitélio do intestino médio de *T. absoluta* entre as lagartas do grupo controle e aquelas dos tratamentos com silício aplicado no solo, como descrito anteriormente para lagartas de outros Lepidoptera (Levy et al., 2004; Pinheiro et al., 2008; Sousa et al. 2009; Sousa et al., 2010). O silício é benéfico para as plantas atuando, dentre outras funções, como agente indutor de resistência contra insetos-praga (Fawe et al., 2001; Gomes et al., 2005; 2008; Costa et al., 2009; Massey & Hartley, 2009; Moraes et al. 2009; Reynolds et al., 2009; Pereira et al., 2010; Dalalstra et al., 2011). A silificação da epiderme impede a penetração e a mastigação pelos insetos devido ao endurecimento células vegetais (Chérif et al., 1992; Datnoff et al., 2001; Ghanmi et al., 2004; Currie & Perry, 2007; Gomes et al., 2008) pelo acúmulo de silício nas partes externas das paredes celulares na forma de sílica amorfa (Costa & Moraes, 2002; Basagli et al., 2003; Juliatti & Korndörfer, 2003; Korndörfer et al., 2004; Correa et al., 2005; Gomes et al., 2005; Moraes et al., 2005; Costa & Moraes, 2006; Dalalstra et al., 2011). Porém, o tomateiro é uma planta considerada não-acumuladora de

silício, pois absorve pouco silício pelas raízes (Lana et al., 2003; Ma & Yamaji, 2006) e o aumento do nível deste elemento em folhas de tomate não é proporcional à sua disponibilidade no substrato (Pereira et al., 2003).

Neste estudo, um dos efeitos causados pela aplicação de silício nas folhas foi o descolamento da membrana basal do epitélio do intestino médio, o que tem como consequência a redução da capacidade digestiva em insetos (Barbeta et al., 2008). Os mecanismos de ação do silício nas células intestinais de insetos não estão ainda completamente entendidos. O desarranjo celular no intestino médio das lagartas de *T. absoluta* pode indicar que a ação anti-alimentar dos compostos contendo silício pode estar relacionada a efeitos fisiológicos decorrentes de sua ingestão. Resultados semelhantes foram observados com uso de derivados de outros compostos utilizados no Manejo Integrado de Pragas alterando as células epiteliais do intestino médio de insetos (Ndione et al., 2007). Insetos expostos a compostos derivados de sementes de nim (*Azadirachta indica*), tiveram redução da sua capacidade digestiva (Barbeta et al., 2008) e bloqueio de células estimuladoras de alimentação (Mordue & Nisbest, 2000). O intestino médio de larvas de *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentadas com folhas de algodão Bt apresentaram alterações morfológicas nas células colunares e caliciformes, com numerosos vacúolos, degeneração da camada muscular e ausência da membrana peritrófica (Sousa et al., 2010).

Entretanto, este trabalho mostrou que não houve efeito do silício sobre as mandíbulas de *T. absoluta*, que estiveram íntegras em todos os tratamentos e em todos os estádios larvais. Em lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (Goussain et al., 2002) e *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) (Freitas et al., 2012), alimentadas com plantas de milho e repolho, respectivamente, tratadas

com silicato de cálcio, foi observado desgaste acentuado da região incisora das mandíbulas em todos os estágios larvais. Contudo, em lagartas de *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) alimentadas em cana-de-açúcar tratadas com silício, não houve efeito significativo no desgaste das mandíbulas desta praga (Kvedaras et al., 2009), que corroboram com os resultados deste trabalho.

Soluções são facilmente absorvidas pela cutícula das folhas, que apresenta microcanais e rupturas, inclusive a camada subestomática, altamente permeáveis à difusão de cátions e ânions, que permitem a passagem de soluções (Faquin, 2005). O Agrosilício[®] (insolúvel em água) aplicado via foliar, forma apenas uma camada de sílica sobre a epiderme das folhas e o Sili-K[®] (silício líquido solúvel) forma esta camada de sílica evidenciada pela polimerização do produto com compostos da cutícula (Fernandes et al., 2009). Possivelmente, o Sili-K[®] aplicado em solução na superfície foliar, atravessa a cutícula e ocupa os espaços intercelulares e a superfície externa do plasmalema, ocupando inicialmente o apoplasto e, posteriormente, o simplasto foliares (Faquin, 2005), para então acumular-se na forma de sílica amorfa nas paredes celulares pelo processo de transpiração (Korndörfer, 2006). Estas formas de deposição do silício nas folhas, possivelmente, provocaram o descolamento da membrana basal do epitélio do intestino médio, decorrentes de sua ingestão por lagartas de *T. absoluta* mas não foram suficientes para provocar alterações nas mandíbulas desses insetos.

A presença de protrusões citoplasmáticas semelhantes a corpos apoptóticos sendo eliminadas no lúmen do intestino médio foi encontrada em lagartas de *T. absoluta* tratadas com silício aplicado via foliar, o que pode indicar um efeito nocivo deste elemento no epitélio do intestino médio destas lagartas. Apoptose é um padrão morfológico de morte celular programada caracterizada pela retração das células e aumento da densidade celular

(Ihara et al., 1998). A ingestão do silício pode ter causado efeito tóxico danificando as células epiteliais do intestino médio e, conseqüentemente, uma resposta seria a eliminação destas células, por morte celular programada. Toxinas, como a Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis*, podem causar efeito semelhante, proporcionando efeito anti-alimentar e causando apoptose em células do intestino médio de insetos (Zhang et al., 2005).

A concentração de pequenos grânulos basofílicos encontrados nas células colunares do intestino médio de lagartas de *T. absoluta* são semelhantes a estruturas denominadas micetócitos, presentes em algumas espécies de insetos que dependem obrigatoriamente do mutualismo com microrganismos, principalmente bactérias (Moran & Baumann, 2000). Entretanto a ocorrência de células acumulando tais microrganismos não tem sido reportada em Lepidoptera e a identificação dos microrganismos encontrados no interior dos micetócitos de *T. absoluta* deve ser conduzida no futuro, para compreender a função destes na fisiologia do inseto ou na transmissão de doenças para as plantas.

5 CONCLUSÃO

O tratamento com silício via foliar, levou ao descolamento da membrana basal do intestino médio de lagartas de *Tuta absoluta*, podendo levar à dificuldades de digestão do alimento e menor consumo do vegetal pela praga.

Independente da dosagem dos produtos contendo silício aplicados nas folhas, os efeitos causados nas lagartas de *T. absoluta* foram semelhantes, o que significa que doses menores de produtos contendo silício podem reduzir a alimentação de *T. absoluta*.

Em sistemas de produção onde este elemento é utilizado, pode-se gerar economia nos custos de produção do tomateiro além dos ganhos ambientais decorrentes da utilização em menor quantidade do produto contendo silício e da diminuição da utilização de agrotóxicos.

6 AGRADECIMENTOS

Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal de Viçosa (UFV), CAPES, Núcleo de Microscopia e Microanálise (UFV), Laboratório de Biologia Estrutural (UFV), Professor Dr. Marcelo Coutinho Picanço (UFV), Laboratório de Entomologia Agrícola (UFV), Professor Dr. Tuneo Sedyama (UFV), Embapa Hortaliças, às empresas Unaprosil e Agronelli Insumos Agrícolas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativos, 2011. 324p.
- Almeida GD, Pratisoli D, Zanuncio JC, Vicentini VB, Holtz AM, Serrão JE. 2009. Calcium silicate and organic mineral fertilizer increase the resistance of tomato plants to *Frankliniella schultzei*. *Phytoparasitica*, 37, 225-230.
- Barbeta BL, Marshal AT, Gillon A, Craik DJ, Marlyn AA. 2008. Plant cyclotides disrupt epithelial cell in the midgut of Lepidoptera larvae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 1221-1225.
- Basagli MAB, Moraes JC, Carvalho GA, Ecolé CC, Gonçalves-Gervásio RCR. 2003. Effect of sodium silicate on the resistance of wheat plants to green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 32, 659-663.
- Benvenga SR, Fernandes AO, Gravena S. 2007. Tomada de decisão de controle da traçadotomateiro através de armadilhas com feromônio sexual. *Horticultura Brasileira* 25, 164-169.
- Camargo JMM, Moraes JC, Oliveira EB, Penteadó SRC, Carvalho RCZ. 2008. Efeito da aplicação do silício em plantas de *Pinus taeda* L., sobre a biologia e morfologia de *Cinara atlantica* (Wilson) (Hemiptera: Aphididae). *Ciencia e Agrotecnologia*, 32, 1767-1774.
- Cavalcante VM, Cruz-Landim C. 1999. Types of cells present in the midgut of the insects: A review. *Naturalia*, 24, 19-40.
- Chapman RF. 1998. *The insects: Structure and function*. 4a ed. Cambridge, Harvard University Press, 770p.
- Chérif M, Menzies JG, Benhamou N, Bélanger RR. 1992. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 41, 371-385.
- Collavino MD, Gimenez RA. 2008. Efficacy of imidacloprid to control the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick). *Idesia*, 26, 65-72.
- Correa RSB, Moraes JC, Auad AM, Carvalho GA. 2005. Silicon and acibenzolar-s-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B. *Neotropical Entomology*, 34, 429-433.
- Costa RR, Moraes JC. 2002. Resistência induzida em sorgo por silicato de sódio e infestação inicial pelo pulgão-verde *Schizaphis graminum*. *Ecossistema*, 27, 37-39.
- Costa RR, Moraes JC. 2006. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-s-methyl na resistência de plantas de trigo ao *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 35, 834-839.

- Costa RR, Moraes JC, Costa RR. 2009. Interação silício-imidacloprid no comportamento biológico e alimentar de *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. *Ciência e Agrotecnologia*, 33, 455-460.
- Côté-Beaulieu C, Chain F, Menzies JG, Kinrade SD, Bélanger RR. 2009. Absorption of aqueous inorganic and organic silicon compounds by wheat and their effect on growth and powdery mildew control. *Environmental and Experimental Botany*, 65,155-161.
- Cruz-Landim C, Silva de Moraes RLM, Serrão JE. 1996. Ultrastructural aspects of epithelial renewal in the midgut of adult worker bees (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Computational Biology*, 1, 29-40.
- Currie HA, Perry CC. 2007. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Annals of Botany*, 100, 1383-1389.
- Dalastra C, Campos AR, Fernandes FM, Martins GM, Campos ZR. 2011. Silício como indutor de resistência no controle do tripses do prateamento *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoimzeiro. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 531-538.
- Datnoff LE, Snyder GH, Korndörfer GH. 2001. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier, 403p.
- De Priester W. 1971. Ultrastructure of the midgut epithelial cells in the fly *Calliphora erythrocephala*. *Journal of Ultrastructure Research*, 36, 783-805.
- Dow JAT. 1986. Insect midgut function. *Advances in Insect Physiology*, 19, 187-328.
- Epstein E. 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology*, 50, 641–664.
- Epstein E, Bloom AJ. 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. Sinanuer Associates. 400p.
- Faquin V. 2005. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras, UFLA, FAEP, 186p.
- Fernandes ALT, Merrighi ALN, Silva GA, Fraga Júnior EFF. 2009. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. *FAZU em Revista*, 6, 11-52.
- Ferreira RS, Moraes JC, Antunes CS. 2011. Silicon influence on resistance induction against *Bemisia tabaci* biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) and on vegetative development in two soybean cultivars. *Neotropical Entomology*, 40, 495-500.
- França FH, Villas Bôas GL, Castelo Branco M, Medeiros MA. 2000. Manejo integrado de pragas. In: Silva JBC da, Giordano L de B. (Eds). *Tomate para processamento industrial*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Embrapa Hortaliças, p.112-127.

- Freitas LM, Junqueira AMR, Michereff Filho M. 2012. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em plantas de repolho. *Revista Caatinga*, 25, 8-13.
- Ghanmi D, McNally DJ, Benhamou N, Menzies JG, Belanger RR. 2004. Powdery mildew of *Arabidopsis thaliana*: A pathosystem for exploring the role of silicon in plant-microbe interactions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 64, 189–199.
- Giustolin TA, Vendramim JD, Parra JRP. 2002. Número de ínstaes larvais de *Tuta absoluta* (Meyrick) em genótipos de tomateiro. *Scientia Agricola*, 59, 393-396.
- Gomes FB, Moraes JC, Santos CD, Goussain MM. 2005. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola*, 62, 547–551.
- Gomes FB, Moraes JC, Antunes CS. 2008. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology* 37, 185-190.
- Goussain MM, Moraes JC, Carvalho J, Nogueira NL, Rossi NL. 2002. 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*, 3, 306-310.
- Hopkins TL, Harper MS. 2001. Lepidoptera peritrophic membranes and effects of dietary Wheat Germ Agglutinin on their formation and structure. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 47, 100-109.
- Ihara T, Tsukiko YMS, Ueno HOY. 1998. The process of ultrastructural changes from nuclei to apoptotic body. *Virchows Archiv*, 433,443–447.
- Juliatti FC, Korndörfer GH. 2003. Uso do Silício no manejo integrado de doenças de plantas experiência brasileira. *Fitopatologia Brasileira*, 28, 45-52.
- Kennedy GG. 2003. Tomato, pests, parasitoids, and predators: Tritrophic interactions involving the genus *Lycopersicon*. *Annual Review of Entomology*, 48, 51–72.
- Korndörfer GH, Pereira HS, Nolla A. 2004. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, 34p.
- Korndörfer GH. 2006. Elementos benéficos. In: Fernandes MS (ed.). *Nutrição Mineral de Plantas*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 355-374.
- Kvedaras OL, Byrne MJ, Coombes NE, Keeping MG. 2009. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. *Agricultural and Forest Entomology*, 11, 301–306

- Lana RMQ, Kornodorfer GH, Zanão LA, Silva AF, Lana AMQ. 2003. Effects of calcium silicate on the productivity and silicon accumulation in the tomato plant. *Bioscience Journal*, 19, 15–20.
- Lehane MJ, Billingsley PF. 1996. *Biology of the insect midgut*. London, Chapman & Hall, 486p.
- Leite GLD, Picanço M, Guedes RNC, Zanuncio JC. 2001. Role of plant age in the resistance of *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum* to the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Scientia Horticulturae*, 89, 103–113.
- Levy SM, Falleiros AMF, Gregório EA, Arrebola NR, Toledo LA. 2004. The larval midgut of *Anticarsia gemmatalis* (hübner) (Lepidoptera: Noctuidae): light and electron microscopy studies of the epithelial cells. *Brazilian Journal of Biology*, 64, 3, 633-638.
- Ma JF, Miyake Y, Takahashi E. 2001. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: *Silicon in Agriculture*. Datnoff, L. E., Korndörfer, G. H., Snyder, G (Eds). Elsevier science, 17-39.
- Ma JF, Yamaji N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Plant Science*, 11, 392–397.
- Mahanil S, Attajarusit J, Stout MJ, Thipyapong P. 2008. Overexpression of tomato polyphenol oxidase increases resistance to common cutworm. *Plant Science*, 74, 456–466.
- Massey FP, Ennos AR, Hartley SE . 2006. Silica in grasses as a defence against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder . *Journal of Animal Ecology* , 75 , 595-603.
- Massey FP, Hartley SE. 2009. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. *Journal of Animal Ecology*, 78, 281–291.
- Medeiros MA, Sujii ER, Rasi GC, Liz RS, Morais HC. 2009. Padrão de oviposição e tabela de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 53, 3, 452–456.
- Medeiros MA, Sujii ER, Morais, HC. 2011. Fatores de mortalidade na fase de ovo de *Tuta absoluta* em sistemas de produção orgânica e convencional de tomate. *Bragantia*, 70, 72-80.
- Miranda MMM, Picanço M, Zanuncio JC, Guedes RNC. 1998. Ecological life table of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Biocontrol Science and Technology*, 8, 597–606.
- Moraes JC, Goussain MM, Carvalho GA, Costa RR. 2005. Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Homoptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. *Ciência e Agrotecnologia*, 29, 761-766.

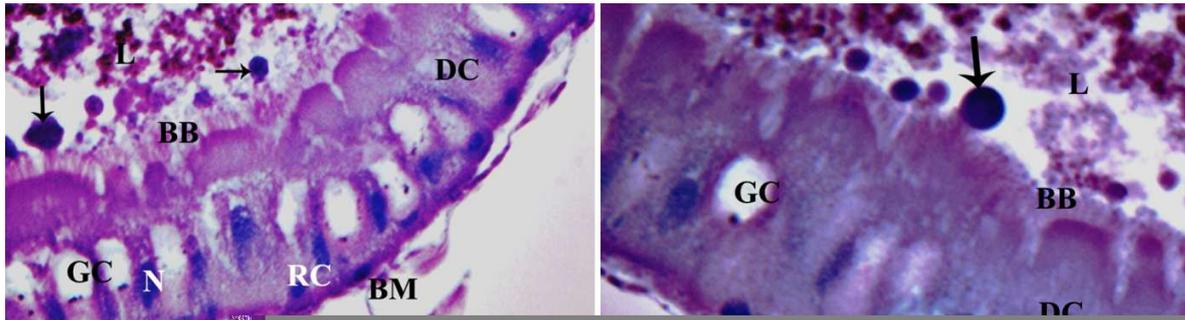
- Moraes JC, Ferreira RS, Costa RR. 2009. Indutores de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn., 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja. *Ciência e Agrotecnologia*, 33, 1260-1264.
- Moran NA, Baumann P. 2000. Bacterila endosymbionts in animals. *Current Opinion in Microbiology*, 3, 270-275.
- Mordue AJL, Nisbet AJ. 2000. Azadirachtin from the neem tree *Azadiracta indica* its actions against insects. *An. Soc. Entomol. Bras.*, 29, 616-632.
- Ndione RD, Faye O, Ndiaye M, Dieye A, Afoutou JM. 2007. Toxic effects of neem products (*Azadiracta indica* A. Juss) on *Aedes aegypti* Linnaeus 1762 larvae. *African Journal of Biotechnology*, 6, 2846-2854.
- Neves CA, Bhering LL, Serrao JE. 2002. Famide-like midgut endocrine cells during the metamorphosis in *Melipona quadrifasciata anthidioides* (Hymenoptera, Apidae). *Micron*, 33, 453-460.
- Pereira HS, Vitti GC, Korndorfer GH. 2003. Behavior of different silicon sources in the soil and in tomato crop. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 101-108.
- Pereira RRC, Moraes JC, Prado E, Dacosta RR. 2010. Resistance inducing agents on the biology and probing behaviour of the greenbug in wheat. *Scientia Agricola*, 67, 430-434.
- Pinheiro DO, Quagio-grassiotto I, Gregório EA. 2008. morphological regional differences of epithelial cells along the midgut in *Diatraea saccharalis* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) larvae. *Neotropical Entomology*, 37, 413-419.
- Reynolds OL, Keeping MG, Meyer JH. 2009. Silicon augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. *Annual Applied Biology*, 155, 171-186.
- Ribeiro AC, Guimarães PTG. 1999. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para uso de corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa: UFV. 359p.
- Rodrigues FA, McNally DJ, Datnoff LE, Jones JB, Labbé C, Benhamou N, Menzies JG, Bélanger RR. 2004. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexin in Rice: a potential mechanism for blast resistance. *Phytopathology*, 94, 177-183.
- Savant NK, Korndorfer GH, Datnoff LE, Snyder GH. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 22, 1853-1903.
- Sehnal F, Zitnan D. 1996. Midgut endocrine cells, p.55-78. In: Lehane, M.J.; Billingsley, P.F. (eds.), *Biology of the insect midgut*. London, Chapman & Hall, 486p.
- Serrão JE, Cruz-Landim C. 1996. Ultrastructure of midgut endocrine cells in workers of stingless bee (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). *Iheringia Ser. Zool.*, 81, 151-156.

- Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanco MC. 2000a. Cartap resistance and synergism in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology*, 124, 233-238.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanço MC. 2000b. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 2, 147-153.
- Sommer M, Kaczorek D, Kuzyakov Y, Breuer J. 2006. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes: a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 310-329.
- Sousa MEC, Wanderley-Teixeira V, Teixeira AAC, Siqueira HAA, Santos FAB, Alves LC. 2009. Ultrastructure of the *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) midgut. *Micron*, 40, 743-749.
- Sousa MEC, Santos FAB, Wanderley-Teixeira V, Teixeira AAC, Siqueira HAA, Alves LC, Torres JB. 2010. Histopathology and ultrastructure of midgut of *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) fed Bt-cotton. *Journal of Insect Physiology*, 56, 1913-1919.
- Stefanini E, Fadda F, Medda L, Gessa GL. 1976. Selective inhibition of serotonin uptake by trazodone, a new antidepressant agent. *Life Science*, 8, 1459-1466.
- Terra W. 1988. Physiology and biochemistry of insect digestion: An evolutionary perspective. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 21, 675-734.
- Terra WR. 2001. The origin and functions of the insect peritrophic membrane and peritrophic gel. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 47, 47-61.
- Terra WR, Costa RH, Ferreira C. 2006. Plasma membranes from insect midgut cells. *Annual Brazilian Academy of Sciences*, 78, 255-269.
- Vianna UR, Pratisoli D, Zanuncio JC, Lima ER, Brunner J, Pereira FF, Serrão JE. 2009. Insecticide toxicity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) females and effects on descendent generation. *Ecotoxicology* 18, 180-186.
- Vivan LM, Torres JB, Veiga FSL, Zanuncio JC. 2002. Comportamento de predação e conversão alimentar de *Podisus nigrispinus* sobre a traça-do-tomateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36, 581-587.
- Zanuncio TV, Serrão JE, Zanuncio JC, Guedes RNC. 2003. Permethrin-induced hormesis on the predator *Supputius cincticeps* (Stal, 1860) (Heteroptera: Pentatomidae). *Crop Protection*, 22, 941-947.
- Zhang X, Candas M, Griko NB, Rose-Young L, Bulla LA. 2005. Cytotoxicity of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin depends on specific binding of the toxin to the cadherin receptor BT-R(1) expressed in insect cells. *Cell Death and Differentiation*, 12, 1407-1416.

Tabela 1. Fontes e doses de silício utilizadas para avaliar o efeito de silício sobre a morfologia do intestino médio e da mandíbula de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).

TRATAMENTOS	PRODUTO	QUANTIDADE	
		t ha ⁻¹ de SiO ₂	g de Agrosilício [®] /vaso de 3 litros
T1	Agrosilício [®] Solo	0,45	13,5
T2		0,9	27,0
T3		1,35	40,5
T4		1,8	54,0
		t ha ⁻¹ de SiO ₂ /aplicação	g de Agrosilício [®] /planta/aplicação em 250ml de água destilada
T5	Agrosilício [®] Foliar	0,5	71,25
T6		1,0	142,5
T7		1,5	213,75
T8		2,0	285,0
		l ha ⁻¹ produto/aplicação	ml de Sili - K [®] /planta/aplicação em 250ml de água destilada
T9	Sili-K [®] Foliar	0,5	0,015
T10		1,0	0,030
T11		2,0	0,060
T12		3,0	0,090
		% de ácido silícico/aplicação	g de ácido silícico/planta/aplicação em 250ml de água destilada
T13	Ácido Silícico Foliar	0,5	1,25
T14		1,0	2,5
T15		2,0	5,0
T16		3,0	7,5

		% de ácido silícico /aplicação	g de ácido silícico/vaso/aplicação em 250ml de água destilada
T17		0,25	1,25
T18	Ácido Sílicico	0,50	2,5
T19	Solo (%)	0,75	5,0
T20		1,0	7,5
T21	CONTROLE	0	0



Figuras 1-5. Seções transversais do intestino médio de lagartas de quarto estágio de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) alimentadas com plantas de tomate tratadas com compostos contendo silício. **1.** Epitélio do intestino médio de lagartas alimentadas com folhas de plantas expostas ao Agrosilício® foliar (T6 1,0 t ha⁻¹ de SiO₂) mostrando Células Digestivas (DC), Células Caliciformes (GC), Células Regenerativas (RC), Membrana Basal Descolada (BM), Borda Estriada bem desenvolvida (BB) e Corpos Apoptóticos (→), Luz (L), Núcleo (N). Barra = 20µm. **2.** Epitélio do intestino médio de lagartas alimentadas com folhas de plantas expostas ao Agrosilício® Foliar (T6 1,0 t ha⁻¹ de SiO₂), mostrando corpos apoptóticos basofílicos (→), Células Caliciformes (GC), Luz (L), Borda Estriada bem desenvolvida (BB), Células Digestivas (DC), Membrana Basal Descolada (BM), Traqueia (Tr), Núcleo (N) . Barra = 10µm. **3.** Epitélio do intestino médio de lagartas alimentadas com folhas de plantas expostas o Ácido Silícico Foliar (T16 3,0% de SiO₂), mostrando Células Digestivas (DC) e Células Caliciformes (GC) com vacúolos no citoplasma (V), Borda Estriada bem desenvolvida (BB), Núcleo (N). Observe a membrana peritrófica (PM). Barra = 10 µm. **4.** Epitélio do intestino médio de lagartas alimentadas com folhas de plantas expostas ao Sili-K® (T12 3,0 l ha⁻¹), mostrando Membrana Basal Descolada (BM), Borda Estriada bem

desenvolvida (BB), Luz (L), Células Digestivas (DC), Núcleo (N) . Barra = 10µm. **5.** Epitélio do intestino médio de lagartas provenientes do grupo controle (T21), sem qualquer adição de compostos contendo silício, mostrando Micetócitos (MY), Núcleo (N), Borda Estriada bem desenvolvida (BB), mostrando Membrana Basal íntegra (BM), Células Digestivas (DC), Células Caliciformes (GC), Luz (L). Barra= 10µm.



Figuras 6-7. Mandíbulas de lagartas de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) sem diferença no formato dos dentes. **6.** Lagartas de quarto estágio expostas ao Ácido Silícico Foliar (T5 0,50% de SiO₂) mostrando Músculo Inserir (M). Barra = 20µm **7.** Lagartas de quarto estágio pertencentes ao grupo controle (T21), sem qualquer adição de compostos contendo silício. Barra = 20µm.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independente da dosagem dos produtos contendo silício aplicados nas folhas, os efeitos causados nas lagartas de *T. absoluta* foram semelhantes, o que significa que doses menores de produtos contendo silício podem reduzir a alimentação de *T. absoluta*.

Em sistemas de produção onde este elemento é utilizado, pode-se gerar economia nos custos de produção do tomateiro além dos ganhos ambientais decorrentes da utilização em menor quantidade do produto contendo silício e da diminuição da utilização de agrotóxicos.

A concentração de pequenos grânulos basofílicos encontrados nas células colunares do intestino médio de lagartas de *T. absoluta* são semelhantes a estruturas denominadas micetócitos, presentes em algumas espécies de insetos que dependem obrigatoriamente do mutualismo com microrganismos, principalmente bactérias (Moran & Baumann, 2000). Entretanto a ocorrência de células acumulando tais microrganismos não tem sido reportada em Lepidoptera e a identificação dos microrganismos encontrados no interior dos micetócitos de *T. absoluta* deve ser conduzida no futuro, para compreender a função destes na fisiologia do inseto ou na transmissão de doenças para as plantas.