

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

ADAMASTOR PEREIRA BARROS

**BIOLOGIA DE *Liriomyza sativae* Blanchard, 1938 (Diptera:
Agromyzidae) EM TOMATEIROS SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE
SILÍCIO**

ALEGRE
ESPÍRITO SANTO
2016

ADAMASTOR PEREIRA BARROS

**BIOLOGIA DE *Liriomyza sativae* Blanchard, 1938 (Diptera:
Agromyzidae) EM TOMATEIROS SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE
SILÍCIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Bolsoni Zago

ALEGRE
ESPÍRITO SANTO
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

B277b Barros, Adamastor Pereira, 1993-
Biologia de *Liriomyza sativae* Blanchard, 1938 (Diptera: Agromyzidae) em tomateiros submetidos à aplicação de silício / Adamastor Pereira Barros. – 2016.
60 f. : il.

Orientador: Hugo Bolsoni Zago.

Coorientador: Dirceu Pratissoli.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Mortalidade. 2. Manejo de pragas. 3. Mosca-minadora. 4. Tomate. 5. Silicato de potássio. 6. Sílica. I. Zago, Hugo Bolsoni. II. Pratissoli, Dirceu. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 63

ADAMASTOR PEREIRA BARROS

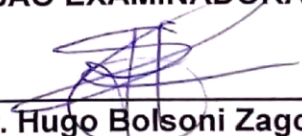
**BIOLOGIA DE *Liriomyza sativae* Blanchard, 1938 (Diptera:
Agromyzidae) EM TOMATEIROS SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE
SILÍCIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal

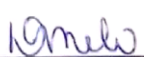
Orientador: Prof. Dr. Hugo Bolsoni Zago

Aprovado em: 02/08/2016

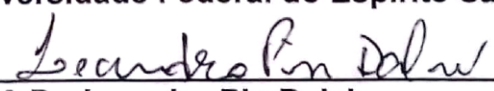
COMISSÃO EXAMINADORA:




Prof. Dr. Hugo Bolsoni Zago
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)



Drª Débora Ferreira Melo Fragoso
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Leandro Pin Dalvi
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. William Bucker Moraes
Universidade Federal do Espírito Santo

A Deus, pela graça da vida.

À Eurenice Rosa e Assis Barros que me deram a vida, o apoio e a confiança para seguir lutando.

À Danielly Dubberstein, pelo carinho, atenção e incentivo.

Aos meus amigos, pelo aprendizado mútuo, durante todo o tempo de convivência, nos momentos de angústia e de alegria.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida e pela energia oferecida para seguir continuando;

Aos meus pais, Eurenice Rosa e Assis Barros, meus tios Marcos Barros, Moises Medeiros, Aristóteles Medeiros, Nivaldo Medeiros, a minhas tias Irenilda Rosa, Gardênia Rosa, Esmília Medeiros, Maria José;

Aos familiares que torceram pelo meu crescimento;

À minha querida Danielly Dubberstein pela paciência, carinho, atenção, respeito e ajuda;

À Josimária Dantas, Ednalva Medeiros, Rossini Macedo, Marta Priscila, Mariane Dantas e Igor Andrade pela confiança e apoio dedicado na minha chegada ao Espírito Santo;

Aos amigos e companheiros de convivência na república, Maycown Douglas, Dionício Belisario, Lauro Neto, Matheus Custódio, Daniel Lopes e Bruno Fardim;

Aos professores Dirceu Pratissoli, Adilson, Patrícia, Paulo Cavatte, Adésio Ferreira, Marcelo Tomaz pela disponibilidade e ensinamentos;

Aos Amigos Cristhian Duran, Luis Moreira, José Romário, Rafael Souza, Julielson Oliveira, Darley, Marcel, Ingrid Schimidt, e Lorena Contarini pela amizade, atenção e força nos momentos difíceis na cidade de Alegre-ES;

À Luiza mendes, Cíntia Machado, Paula Amorim pelos pequenos, mas importantes favores;

À família Nudemafi: Maria Carlota, Priscila, Laura, Ana Clara, Breno, Sabrina, Aixelhe, Julielson, Rafael, Romário Vargas, Fernando, Anderson, Luana, Victor e aqueles que já foram embora, agradeço por tornarem meus momentos mais suportáveis e únicos;

À Camila Santos, Camila Costabeber, Sabrina Buqueroni, Michelly Moraes, Izaac pela ajuda nos experimentos e na manutenção de insetos;

A Léo Mardgan pela disponibilidade e amizade;

Ao Carlos Magno, Regina, Rodolfo Mendonça, Amanda Lima, Euziane, Franciele Barros, José Henrique pelas palavras de ajuda, e disponibilidade em diversas vezes em que precisei;

Ao José Romário pelos auxílios estatísticos e metodológicos;

Ao meu orientador, Hugo Bolsoni Zago pelos valiosos ensinamentos, paciência amizade, disponibilidade e confiança;

À Débora F. M. Fragoso, ao Prof. Leandro Pin Dalvi, e o Prof. Willian Bucker Moraes pela disponibilidade na participação da banca examinadora;

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade dada à minha formação profissional;

Ao Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças (NUDEMAFI) na pessoa do Prof. Dirceu Pratissoli, ao Laboratório de Biometria de Plantas, pelo espaço para condução dos experimentos;

Às empresas Koppert Brasil, Bug Agentes Biológicos, BMS Brasil pela parceria com o NUDEMAFI, e disponibilidade;

À CAPES pelo financiamento da Bolsa;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro para as pesquisas;

A todos que, direto ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho e para minha formação.

Meu muitíssimo obrigado!

*Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa. Todos
nós ignoramos alguma coisa. Por isso
aprendemos sempre.*

Paulo Freire (1921-1997)

BIOGRAFIA

Nascido e criado no município de Guarabira, estado da Paraíba, iniciou seus estudos na escola Educandário Sonho Meu, concluiu o ensino médio no Colégio e Curso Objetivo, da mesma cidade, no ano de 2010. Aos 17 anos ingressou no curso de Licenciatura Plena em Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, onde desenvolveu trabalhos e obteve experiência com ensino pesquisa e extensão nas áreas de Ciências Agrárias com ênfase em Agroecologia, atuando principalmente nos seguintes temas: Controle alternativo de pragas, desenvolvimento e aplicações de tecnologias adaptadas à produção sustentável de alimentos, e extensão rural. Durante esse período foi bolsista de projetos de iniciação científica, colaborou como voluntário em projetos de extensão universitária, com gestão de feiras agroecológicas, participou do Programa de Residência Agrária onde teve vivências em comunidades agroecológicas do semiárido paraibano. Em 2014 concluiu o curso com sob a orientação do Prof. Dr. Marcos Barros de Medeiros, sendo premiado pela Pró-reitoria de Graduação com o diploma de Láurea acadêmica, como aluno destaque da turma. No mesmo iniciou aperfeiçoamento em nível de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal-PPGPV da Universidade Federal do Espírito Santo, sob orientação do Dr. Hugo Bolsoni Zago. Em 2 de agosto de 2016, defendeu sua dissertação, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, Área de Concentração em Fitossanidade (Entomologia).

RESUMO

O tomateiro é sensível ao ataque da mosca-minadora, *Liriomyza sativae*. As injúrias provocadas pela mosca-minadora comprometem a sanidade do vegetal, uma vez que, tanto as puncturas para alimentação quanto as galerias confeccionadas pelas larvas favorecem a entrada de patógenos, além de reduzir a área fotossintética. O uso de silício na cultura do tomateiro pode ser um excelente aliado no manejo de *L. sativae*, podendo reduzir e até dispensar o uso de inseticidas sintéticos que provocam desequilíbrios ambientais, entre os quais, morte de insetos benéficos, polinizadores, predadores e parasitoides. Portanto objetivou-se analisar a biologia e o comportamento de *L. sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício. Os tratamentos foram com silicato de potássio e dióxido de silício, em duas formas de aplicação, foliar e drench. Aplicou-se nos tomateiros as fontes de silício, 24 horas após, realizou-se os ensaios. No ensaio de biologia analisou-se a duração e viabilidade das fases imaturas, a razão sexual, longevidade e a sobrevivência dos adultos. Já no ensaio de livre escolha avaliou-se o comportamento alimentar e reprodutivo das fêmeas. No ensaio de tabela de vida e fertilidade, ovos e larvas de duas gerações de *L. sativae* foram desenvolvidos em tomateiros submetidos à aplicação de silício, e avaliou-se os a prole F1. Com os dados biológicos confeccionou-se as Tabelas de Vida de Fertilidade (TVF) e calculou-se os parâmetros de crescimento populacional pela estimativa de Jackknife, com adultos da prole F1 analisou-se a sobrevivência e a fertilidade. A pulverização de silicato de potássio e dióxido de silício confere proteção aos tomateiros, afetando a sobrevivência da fase imatura, o comportamento alimentar e de oviposição, além de comprometer a fertilidade e a sobrevivência de fêmeas F1. Em síntese, o silício aplicado afeta negativamente a biologia de *L. sativae*.

Palavras-chave: Mortalidade. Manejo de pragas. Mosca-minadora. *Solanum lycopersicum*. Silicato de potássio. Dióxido de silício.

ABSTRACT

Tomato is sensitive to attack the leafminer fly, *Liriomyza sativae*. The injuries caused by the leafminer compromise the health of the plant, once both the punctures as for feeding as galleries made by larvae favoring the entry of pathogens and reduce the photosynthetic area. The use inducers of resistance in tomato crop can be an excellent ally in the management of *L. sativae* and may reduce or even dispense use of synthetic insecticides that cause environmental imbalances, including, death of beneficial insects, pollinators, predators and parasitoids. Therefore, become objectified analyze biology and behavior for *L. sativae* in tomatoes subjected to silicon. Treatments consisted of with potassium silicate and silicon dioxide in two forms of application, drench and foliar. It was applied to tomato plants silicon sources, and after 24 hours, was performed assays. In biology test was analyzed the duration and viability of the immature stages, the sex ratio, longevity and survival of adults. In the assay of free choice was evaluated the feeding and reproductive behavior of females. In life table and fertility assay, eggs and larvae of two generation of *L. sativae* were developed in tomato plants submitted to the application of silicon, and evaluated the F1 offspring. With biological data were made the Fertility Life Tables (TVF) and calculated the parameters of population growth by Jackknife estimation, with F1 offspring adults of we analyzed the survival and fertility. Spraying potassium silicate and silicon dioxide provides protection to tomato plants, affecting the survival of immature stage, feeding behavior and oviposition in addition to impaired fertility and survival of F1 females. In summary, silicon applied adversely affects in the *L. sativae* biology.

Keywords: Mortality. Inductors resistance. Pest management. leafminer. *Solanum lycopersicum*. Potassium silicate. Silicon dioxide.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 — Ciclo ovo-adulto de *Liriomyza sativae* em feijão-caupi *Vigna unguiculata* a 25 ± 1 °C, $50 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 14 horas (LIMA, T.C.C.; SILVA, A.C.; PARRA, J.R.P (2015). 19
- Figura 2 — Disposição das plantas de tomate em sala climatizada para realização dos ensaios. 32
- Figura 3 — Arena usada para avaliação do comportamento de *L. sativae* sob livre escolha em tomateiros submetidos à aplicação de silício; **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; 34
- Figura 4 — Detalhe das gaiolas usadas para obtenção de oviposição de *Liriomyza sativae* em folhas de tomateiros. 35
- Figura 5 — Livre escolha para alimentação e oviposição de *Liriomyza sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício; A - Preferência alimentar, B Preferência de oviposição; Barras seguidas de mesma letra no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05); **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada Temperatura média mínima e máxima (24,0 e 27,8 °C), Umidade relativa média mínima e máxima (35 e 77 %). 36
- Figura 6 — Duração dos estágios de *Liriomyza sativae* desenvolvidas em tomateiros submetidos à aplicação de silício; Barras agrupadas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05); **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura (25,0 ± 1,0 °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas). 37
- Figura 7 — Viabilidade dos estágios de *Liriomyza sativae* desenvolvidas em tomateiros submetidos à aplicação de silício; Barras agrupadas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05); **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura (25,0 ± 1,0 °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas). 38
- Figura 8 — Probabilidade de sobrevivência de fêmeas e machos desenvolvidos em tomateiros submetidos à aplicação de silício; **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura (25,0 ± 1,0 °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas); *Curvas significativamente diferentes: Fêmeas Log-Rank (P=<0,001) Machos: Log-Rank(P=<0,001). 39
- Figura 9 — Disposição das plantas de tomate em sala climatizada para realização dos ensaios. 49
- Figura 10 — Detalhe das gaiolas usadas para obtenção de oviposição de *L. sativae* em folhas de tomateiros submetidos a aplicação de silício. 51

Figura 11 — Diagrama de obtenção de gerações de *L. sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício.51

Figura 12 — Gaiola de confinamento para avaliação da longevidade e a fecundidade dos adultos. a: acesso de entrada dos insetos; b: papel absorvente.53

Figura 13 — Oviposição de *L. sativae* geração F1 desenvolvidas em tomateiros submetidos à aplicação de silício. Barras seguidas de mesma letra no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura ($25,0 \pm 1,0$ °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas).....55

Figura 14 — Probabilidade de sobrevivência de adultos de *L. sativae* prole F1 desenvolvidos em tomateiros submetidos à aplicação de silício; *Curvas significativamente diferentes Log-Rank fêmeas = 21,847 DF = 4 $P = < 0,001$.); **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura ($25,0 \pm 1,0$ °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas).....55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Fontes de silícios adotadas.	32
Tabela 2 — Fontes de silício adotadas.	50
Tabela 3 — Tabela de Vida e Fertilidade de <i>L. sativae</i> prole F1 em tomateiros submetidos à aplicação de silício.	54

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO I.....	16
1.1	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1.2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
1.2.1	O tomate.....	17
1.2.2	A mosca-minadora.....	18
1.2.3	O silício no manejo de pragas.....	20
1.3	REFERÊNCIAS.....	21
2	CAPÍTULO II.....	27
2.1	INTRODUÇÃO.....	29
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
2.2.1	Obtenção e criação de <i>L. sativae</i>	30
2.2.2	Cultivo de tomate e aplicação de silício.....	31
2.2.3	Ensaio de livre escolha de <i>L. sativae</i> em tomateiros submetidos à aplicação de silício.....	33
2.2.4	Ensaio de biologia de <i>L. sativae</i> em tomateiros submetidos à aplicação de silício.....	34
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
2.3.1	Ensaio de livre escolha de <i>L. sativae</i> em tomateiros submetidos à aplicação de silício.....	36
2.3.2	Biologia de <i>L. sativae</i> em tomateiros submetidos à aplicação de silício 37	
2.4	CONCLUSÃO.....	41
2.5	REFERÊNCIAS.....	41
3	CAPÍTULO III.....	45
3.1	INTRODUÇÃO.....	47
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3.2.1	Obtenção e criação de <i>L. sativae</i>	48
3.2.2	Cultivo de tomate e aplicação de silício.....	49
3.2.3	Obtenção da geração Parental (P).....	50
3.2.4	Efeito do silício na prole (F1).....	52
3.2.5	Análises dos dados.....	52
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
3.4	CONCLUSÃO.....	57
3.5	REFERÊNCIAS.....	58
4	CONCLUSÕES GERAIS.....	61

1 CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O tomate *Solanum lycopersicum* é uma das hortaliças mais consumidas no mundo. Esse fruto geralmente é apreciado in natura em saladas, em molhos e outras receitas. O tomateiro é sensível ao ataque de pragas e doenças, dentre as pragas que o atacam, merecem atenção a mosca branca, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) os pulgões: *Myzus perssicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera: Aphididae) e *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas, 1878) (Hemiptera: Aphididae), tripes, *Frankliniella schultzei* (Trybom, 1910) (Thysanoptera: Thripidae), e as moscas minadoras *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) (PRATISSOLI et al., 2015). Em tomateiros, o controle convencional de *Liriomyza* spp. com inseticidas torna-se complexo, devido ao hábito alimentar minador que confere proteção às larvas no interior das folhas, exigindo inseticidas sistêmicos e de alta toxicidade.

Os insetos do gênero *Liriomyza* spp. são vulgarmente conhecidos como mosca-minadora, e promovem sérios prejuízos na tomaticultura. As larvas de *L. sativae* ao se desenvolverem nas folhas das plantas de tomate causam até 65% de redução na fotossíntese. Outra consequência é a entrada de patógenos oportunistas na cultura do tomate, através das puncturas de alimentação realizadas pelas fêmeas.

A utilização de inseticidas sintéticos, é uma prática comum para controle da mosca minadora, porém comprometem em vários aspectos a sustentabilidade do ecossistema agrícola, essa prática seleciona populações resistentes de *Liriomyza* spp. a esses inseticidas, comprometendo toda a cadeia produtiva (MASON; JOHNSON; TABASHNIK, 1987; SARYAZDI et al., 2014).

Métodos de manejo de *L. sativae* que sejam ambientalmente corretos, como os que adotam o silício na proteção de plantas ao ataque de insetos são recentemente investigados, e mostram-se promissores no manejo de pragas (ALMEIDA et al., 2009; GOMES; MORAES; NERI, 2009; PARRELLA; COSTAMAGNA; KASPI, 2007).

As plantas superiores possuem mecanismos que são responsáveis pela defesa vegetal contra pragas e patógenos. Os chamados metabólitos secundários são produzidos em segunda prioridade pela planta, por exemplo, quando ocorre uma

injúria por um inseto ou infecção por microrganismos patogênicos, esse mecanismo é ativado. A produção de compostos secundários (tóxicos) como os alcaloides (cafeína, nicotina), os terpenóides (óleos essenciais, glicosídeos cardioativos), e os compostos fenólicos (taninos, antocianinas, lignina, proteases, inibidores de protease) são ativados por estímulos bióticos (herbívoros) ou abióticos (silício) (EPSTEIN, 1999; GOMES et al., 2005; JEER et al., 2016; TAIZ et al., 2015; TREMACOLDI, 2009).

Neste contexto, o uso do silício na cultura do tomateiro pode ser um excelente aliado no manejo de *L. sativae*, podendo reduzir e até dispensar o uso de inseticidas sintéticos. Portanto o presente trabalho teve como objetivo avaliar a biologia e o comportamento de *L. sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 O tomate

O tomate (*Solanum lycopersicum*) é uma das hortaliças mais consumidas pelos brasileiros. Esta solanácea é originária da América do Sul, posteriormente se dispersando por vários países da América Central, até se tornar popular em todo o planeta após a colonização espanhola (PERALTA; SPOONER, 2006). A economia agrícola brasileira segue forte, com base no ano anterior se espera crescimento de 25,92% no faturamento anual para a tomaticultura (BRASIL, 2016).

O Brasil está entre os 10 maiores produtores de tomate, possui uma área plantada de 55 587 ha, produção de 3 495 957 (toneladas) e uma produtividade de 62 937 kg ha⁻¹ (BRASIL, 2016). O estado do Espírito Santo (ES) é o sétimo maior produtor nacional de tomate, com uma área plantada de 2 610 ha, alcança produtividade de 72 330 kg ha⁻¹, e o valor da produção estimada é de R\$ 246.977. Porém, o ES detém a mais baixa produtividade da região Sudeste. A tomaticultura lidera a participação dentre as olerícolas produzidas no estado (CARVALHO; PAGLIUCA, 2007; GALEANO, 2016).

O fruto do tomateiro, é um alimento funcional e bioativo, apresenta vitaminas, minerais, carotenoides, além de ser rico em antioxidantes e licopeno que são indispensáveis na saúde humana (VIUDA-MARTOS et al., 2014). O cultivo do tomate de mesa tem como característica trabalhos manuais e a intensa demanda de agrotóxicos para o controle de pragas e doenças. Muitos produtores de tomate são

camponeses, que frequentemente sofrem com intoxicações e contaminações pelo uso intensivo de inseticidas, prática comum nos cultivos de tomate brasileiro (MENDES; SILVA JÚNIOR, 2011). O tomateiro é susceptível ao ataque de pragas, dentre estas, merecem atenção a mosca branca *Bemisia tabaci*, os pulgões: *Myzus perssicae* e *Macrosiphum euphorbiae*, tripes *Frankliniella schultzei*, e as moscas minadoras *Liriomyza* spp. (PRATISSOLI et. al., 2015).

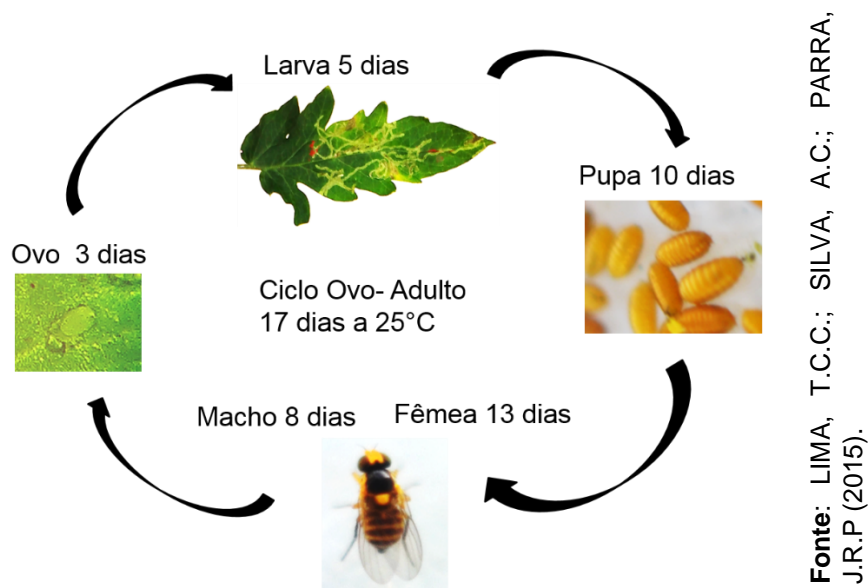
1.2.2 A mosca-minadora

Os insetos do gênero *Liriomyza* spp. são vulgarmente conhecidos como mosca-minadora, minador das folhas, e até mesmo minadora. Representante da ordem Diptera e família Agromyzidae, a espécie *Liriomyza sativae* promove sérios prejuízos nos cultivos de plantas oleráceas e ornamentais, estes insetos atacam mais de 25 famílias de plantas, entre as quais causam prejuízos em feijão, batata, alface, melancia, melão e o tomate (ARAUJO et al., 2013; MUSUNDIRE; CHABI-OLAYE; KRÜGER, 2012).

O ciclo biológico da mosca-minadora possui duração de 17 dias à 25 °C (Figura 1), a emergência dos adultos leva de 5 a 60 minutos, o tempo de maturação e abertura das asas do leva de 20 a 120 minutos, os machos emergem primeiro que as fêmeas, e a razão sexual é de 1:1. Os adultos estão aptos para o acasalamento em até 24 horas após a emergência, a cópula acontece todos os dias e por várias vezes (LIMA; SILVA; PARRA, 2015; OATMAN; KENNEDY, 1976; PARRELLA, 1987). Em temperatura de 25 °C e alimentados com mel os machos vivem em média 8 dias e as fêmeas 13 dias (HAGHANI et al., 2006; LIMA; GEREMIAS; PARRA, 2010).

As fêmeas podem realizar postura endofítica nas folhas, vagens, inflorescências, pecíolos e também nos pecíolos (SPENCER, 2012). O período de desenvolvimento do ovo para *L. sativae*, *L. trifolii* e *L. huidobrensis* é variável conforme a temperatura e hospedeiro, e pode apresentar duração de 1,6 a 7,8 dias na faixa de temperatura entre 15 a 35 °C (HAGHANI et al., 2006; LANZONI et al., 2002; LIMA; GEREMIAS; PARRA, 2009; SANTOS et al., 2015).

Figura 1 — Ciclo ovo-adulto de *Liriomyza sativae* em feijão-caupi *Vigna unguiculata* a 25 ± 1 °C, $50 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 14 horas (LIMA, T.C.C.; SILVA, A.C.; PARRA, J.R.P (2015).



O ovo é translúcido e de formato oblongo, medindo cerca de 0.28 x 0.15 mm em *L. huidobrensis* (AGUILERA, 1972), a identificação dos ovos no mesófilo foliar pode ser feita em estereoscópio com o auxílio de luz de LED transmitida. A mortalidade estimada dos ovos é de 20%, sendo dependente da temperatura do ambiente (BERI, 1974; DIMETRY, 1972). A duração dos ovos também é dependente da temperatura e pode variar de 2 à 8 dias (LEIBEE, 1985)

As larvas apresentam formato vermiforme e cilíndrico, possuem quatro instares (TAUBER, M.; TAUBER, C., 1968). A duração das larvas é variável em função da temperatura, hospedeiro espécie e posição das folhas, de modo geral a duração é de 4 à 6 dias (FAGOONEE; TOORY, 1984; LEIBEE, 1984). As larvas alimentam-se prioritariamente das células do mesófilo foliar construindo galerias (principal dano), esse comportamento lhes confere determinada proteção, dificultando o manejo com o uso de inseticidas (LIMA; SILVA; PARRA, 2015).

Em folhas de tomateiro as larvas de *L. sativae* causam até 65% de redução na fotossíntese (JOHNSON et al., 1983). Em sistema de manejo convencional de *Liriomyza spp.* com o uso de inseticidas químicos, o nível de infestação pode representar de 2,5 a 65% das folhas do tomateiro (PRATISSOLI et al., 2015). Outra

consequência é a entrada de patógenos oportunistas na cultura do tomate, através das puncturas de alimentação realizadas pelas fêmeas (LEITE et al., 2004).

A utilização de inseticidas sintéticos, é uma prática comum para controle da mosca minadora (ASKARI-SARYAZDI et al., 2015). Porém os inseticidas usados comprometem em vários aspectos a sustentabilidade do ecossistema agrícola.

1.2.3 O silício no manejo de pragas

As plantas superiores possuem mecanismos que são responsáveis pela defesa vegetal contra pragas e patógenos. Os chamados metabólitos secundários de defesa, são produzidos em segunda prioridade pela planta, por exemplo, quando ocorre uma herbivoria por animais ou infecção por microrganismos patogênicos, esse mecanismo é ativado. A produção de compostos secundários (tóxicos) como os alcaloides (cafeína, nicotina), os terpenóides (óleos essenciais, glicosídeos cardioativos), e os compostos fenólicos (taninos, antocianinas, lignina, proteases, inibidores de protease) são ativados pelo estímulo de indutores de resistência sejam bióticos (herbívoros) ou abióticos (silício) (EPSTEIN, 1999; GOMES et al., 2005; JEER et al., 2016; TAIZ et al., 2015; TREMACOLDI, 2009).

O silício é um elemento indispensável para as plantas, promove uma gama de benefícios envolvidos entre eles a resistência a estresses bióticos e abióticos (PILON-SMITS et al., 2009). Por exemplo, aumento na defesa contra o ataque de pragas e patógenos, aumento de produtividade, tolerância a estresse salino e à déficit hídrico (CHEN et al., 2014; MASSEY; ENNOS; HARTLEY, 2006; ZHU; GONG, 2014). Além disso, uma maior eficiência do processo fotossintético, aumento dos pigmentos fotossintéticos e de enzimas fotossintéticas são promovidos pelo silício (GONG; CHEN, 2012).

Os tomateiros absorvem uma quantidade de silício menor que 0,2% da matéria seca total, sendo representado então por um processo de absorção passiva (MITANI; MA, 2005). O silício é absorvido pelo tomateiro quando presente na solução do solo na forma de ácido monossilícico Si(OH)_4 , penetra nas células das raízes via fluxo de massa, é absorvido junto com a água pela rota simplástica ou apoplástica e fica imóvel nas raízes (EPSTEIN, 1999; EXLEY, 1998, 2015). Quando a aplicação de silício é via foliar, a absorção acontece na forma de sílica amorfa $\text{Si(O}_2\text{)}$, sendo depositado nas

células da membrana plasmática onde permanece imóvel, porém desencadeando uma série de alterações bioquímicas/moleculares e estruturais (BALASTA et al., 1989; GUERRIERO; HAUSMAN; LEGAY, 2016; LIANG et al., 2015).

Estudos recentes mostram que o silício desencadeia a produção de compostos voláteis na defesa de plantas à insetos como o ácido jasmônico, além da ativação de genes sinalizadores para a produção de enzimas importantes na defesa de plantas como a peroxidase, polifenoloxidase, e fenilalanina amônia-liase (GOMES et al., 2005; JEER et al., 2016; RAHMAN; WALLIS; UDDIN, 2015; REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009; YE et al., 2013)

Em tomateiros tratados com silício foliar Santos et al. (2012) evidenciaram excelentes resultados no manejo da traça-do-tomateiro *T. absoluta*, do mesmo modo, Almeida et al. (2009), encontraram de 60 à 80% de mortalidade de tripes *F. schultzei*. Além disso, Santos, Junqueira e Freitas (2013) demonstraram que, a aplicação foliar de silício em tomateiros representa menores injúrias da traça-do-tomateiro *T. absoluta*.

Dessa maneira, o uso do silício na cultura do tomateiro pode ser um excelente aliado no manejo de *L. sativae*, podendo reduzir e até dispensar o uso de inseticidas sintéticos.

1.3 REFERÊNCIAS

- AGUILERA-P, A. Biología de *Liriomyza langei* Frick (Dipt., Agromyzidae) y evaluacion de los parasitos que emergen del puparium. **Idesia**, n. 2, 1972, p. 71-85, 1972.
- ALMEIDA, G. D. et al. Calcium silicate and organic mineral fertilizer increase the resistance of tomato plants to *Frankliniella schultzei*. **Phytoparasitica; Israel journal of plant protection sciences**, v. 37, n. 3, p. 225-230, 2009.
- ARAÚJO, A. C.; NOGUEIRA, D. P.; AUGUSTO, L. G. Impacto dos praguicidas na saúde: estudo da cultura de tomate. **Revista de Saúde Pública**, v. 34, n. 3, p. 309-313, 2000.
- ARAUJO, E. L. et al. Biological aspects of the leafminer *Liriomyza sativae* (Diptera : Agromyzidae) on melon (*Cucumis melo* L .) **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 579-582, 2013.
- ASKARI-SARYAZDI, G. et al. Selection for chlorpyrifos resistance in *Liriomyza sativae* Blanchard: Cross-resistance patterns, stability and biochemical mechanisms. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 124, p. 86-92, 2015.

BALASTA, M. L. F. C. et al. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, v. 67, n. 8, p. 2356-2363, 1989.

BEERS, E. H. et al. Nontarget effects of orchard pesticides on natural enemies: lessons from the field and laboratory. **Biological Control**, v. xxx, n. xxx, p. 1-9 2016.

BERI, S. K. Biology of a leaf miner *Liriomyza brassicae* (Riley)(Diptera: Agromyzidae). **Journal of Natural History**, v. 8, n. 2, p. 143-151, 1974.

BRASIL. Geraldo S. C. B.. Cepea- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Relatório PIB Agro-Brasil. 6. ed. [s.l]: Cepea-usp, 2016. 16 p. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea_PIB_BR_maio16.pdf>. Acesso em: 12 maio 2016.

BRASIL. Octávio Costa de Oliveira. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-ibge (Ed.). **LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**. 29. ed. Rio de Janeiro-RJ: IBGE, 2016. 113 p. 2 v. (2). Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201602.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201602.pdf)>. Acesso em: 1 abr. 2016.

CARVALHO, J. F.; PAGLIUCA, L. G. Tomate, um mercado que não para de crescer globalmente. **Hortifruti Brasil**, v. 58, p. 6-14, 2007.

CORREA, R. S. B. et al. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. June, p. 429-433, 2005.

LIMA, T.C.C; SILVA, A. C; PARRA, J. R. P. Moscas-minadoras do gênero *Liriomyza* (Diptera: Agromyzidae): aspectos taxonômicos e biologia. 2015. 36 p. (**Embrapa Semiárido**. Documentos, 268). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140807/1/SDC268.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2016.

DIAS, P. A S. et al. Induction of resistance by silicon in wheat plants to Alate and Apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental entomology**, v. 43, n. 4, p. 949-56, 1 ago. 2014.

DIMETRY, N. Z. Biological studies on a leaf mining diptera, *Liriomyza trifolii* Burgess attacking beans in Egypt. (Diptera: Agromyzidae). **Soc Entomol Egypte Bull**, 1972.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual review of plant biology**, v. 50, n. 1, p. 641-664, 1999.

EXLEY, C. A possible mechanism of biological silicification in plants. **Frontiers in plant science**, v. 6, n. 853,1-7 2015.

EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 69, n. 3, p. 139-144, 1998.

FAGOONEE, I.; TOORY, V. Contribution to the study of the biology and ecology of the leaf-miner *Liriomyza trifolii* and its control by neem. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 5, n. 01, p. 23-30, 1984.

GALEANO, E. V. Mudança estrutural e diversificação da produção agropecuária no Espírito Santo. **Geografares**, n. 21, p. 128-141, 2016.

GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. 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**, v. 33, n. 1, p. 18-23, 2009.

GONG, H.; CHEN, K. The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, n. 4, p. 1589-1594, 2012.

GOUSSAIN, M. et al. Efeito da Aplicação de Silício em Plantas de Milho no Desenvolvimento Biológico da Lagarta-do-Cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

GUERRIERO, G.; HAUSMAN, J.-F.; LEGAY, S. Silicon and the plant extracellular matrix. **Frontiers in plant science**, v. 7, n. 468, p. 1-8, 2016.

HAGHANI, M. et al. Comparative demography of *Liriomyza sativae* Blanchard (Diptera: Agromyzidae) on cucumber at seven constant temperatures. **Insect Science**, v. 13, n. 6, p. 477-483, 2006.

JEER, M. et al. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) damage in rice. **Journal of Applied Entomology**. v. , p. 1-13. 2016. DOI: 10.1111/jen.12324.

JOHNSON et al. Reduction of tomato leaflet photosynthesis rates by mining activity of *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 76, n. 5, p. 1061-1063, 1983.

LANZONI, A. et al. Comparative life history of *Liriomyza trifolii* and *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) on beans: effect of temperature on development. **Environmental Entomology**, v. 31, n. 5, p. 797-803, 2002.

LEIBEE, G. L. Effects of storage at 1.1 C on the mortality of *Liriomyza trifolii* Burgess(Diptera: Agromyzidae) life stages in celery. **Journal of economic entomology**, v. 78, n. 2, p. 407-411, 1985.

LEIBEE, G. L. Influence of temperature on development and fecundity of *Liriomyza trifolii* Burgess(Diptera: Agromyzidae) on celery. **Environmental entomology**, v. 13, n. 2, p. 497-501, 1984.

LEITE, G. L. D. et al. Intensity of *Tuta absoluta* Meyrick, 1917(Lepidoptera: Gelechiidae) and *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) attacks on *Lycopersicum esculentum* mill. leaves. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 1, p. 42-48, 2004.

LIANG, Y. et al. **Silicon in Agriculture**. [s.l.] Springer, p. 235, 2015. DOI: 10.1007/978-94-017-9978-2

LIMA, T. C. C.; GEREMIAS, L. D.; PARRA, J. R. P. Efeito da temperatura e umidade relativa do ar no desenvolvimento de *Liriomyza sativae* Blanchard (Diptera: Agromyzidae) em *Vigna unguiculata*. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 6, p. 727-733, 2009.

LIMA, T. C. C.; GEREMIAS, L. D.; PARRA, J. R. P. Reproductive activity and survivorship of *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) at different temperatures and relative humidity levels. **Environmental entomology**, v. 39, n. 1, p. 195-201, 2010.

MACHADO NETO, J. G. **Quantificação e controle da exposição dérmica de aplicadores de agrotóxicos na cultura estaqueada de tomate, na região de Cravinhos-SP**. 112 f. 1990. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1990.

MASON, Gail A.; JOHNSON, Marshall W.; TABASHNIK, Bruce E. Susceptibility of *Liriomyza sativae* and *L. trifolii* (Diptera: Agromyzidae) to permethrin and fenvalerate. **Journal of Economic Entomology**, v. 80, n. 6, p. 1262-1266, 1987.

MENDES, S. A. F. ; SILVA JÚNIOR, M. F.. PERCEPÇÃO DE RISCO NO USO DE AGROTÓXICOS NA PRODUÇÃO DE TOMATE DO DISTRITO DE NOVA MATRONA, SALINAS, MINAS GERAIS. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 39, p. 226-244, 2011.

MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 414, p. 1255-1261, 2005.

MUSUNDIRE, R.; CHABI-OLAYE, A.; KRÜGER, K. Host plant effects on morphometric characteristics of *Liriomyza huidobrensis*, *L. sativae* and *L. trifolii* (Diptera: Agromyzidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 136, n. 1-2, p. 97-108, 2012.

OATMAN, E. R.; KENNEDY, G. G. Methomyl Induced Outbreak of *Liriomyza-Sativae* on Tomato. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 5, p. 667-668, 1976.

PARRELLA, M. P. Biology of *Liriomyza*. **Annual Review of Entomology**, v. 32:, n. 76, p. 201-224, 1987.

PARRELLA, M. P.; COSTAMAGNA, T. P.; KASPI, R. The addition of potassium silicate to the fertilizer mix to suppress *liriomyza* leafminers attacking chrysanthemums. *Acta Horticulturae. Anais...*2007.
DOI:10.17660/ActaHortic.2007.747.45

PERALTA, I. E.; SPOONER, D. M. History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). **Genetic improvement of Solanaceous crops**, v. 2, p. 1-27, 2006.

PERES, FREDERICO; MOREIRA, J. C. Saúde e ambiente em sua relação com o consumo de agrotóxicos em um pólo agrícola do Estado do Rio de Janeiro , Brasil. **Saúde, Ambiente e Agrotóxicos**, v. 23, n. 23, p. 612-621, 2007.

PILON-SMITS, E. A. H. et al. Physiological functions of beneficial elements. **Current opinion in plant biology**, v. 12, n. 3, p. 267-274, 2009.

PRATISSOLI, D. et al. Incidence of leaf miner and insect vectors for pest management systems in the tomato. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 607-614, 2015.

RAHMAN, A.; WALLIS, C. M.; UDDIN, W. Silicon-Induced Systemic Defense Responses in Perennial Ryegrass Against Infection by *Magnaporthe oryzae*. **Phytopathology**, v. 105, n. 6, p. 748-757, 2015.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: A review. **Annals of Applied Biology**, v. 155, n. 2, p. 171-186, out. 2009.

SANTOS, M. C. DOS; et al. Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 76-88, 2012.

SANTOS, M. C. DOS; JUNQUEIRA, A. M. R.; FREITAS, L. M. DE; Efeito Do Silício , Nitrogênio E Potássio Na Incidência Da Traça-Do-Tomateiro Em Plantas Para Processamento. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 19-24, 2013.

SANTOS, M. C. et al. Effect of silicon on the morphology of the midgut and mandible of tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) larvae. **Invertebrate Survival Journal**, v. 12, p. 158-165, 2015.

SARYAZDI, Ghasem Askari et al. Incidence and characterization of resistance to fenpropathrin in some *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) populations in Iran. **Journal of economic entomology**, v. 107, n. 5, p. 1908-1915, 2014.

SPENCER, K. A. **Host specialization in the world Agromyzidae (Diptera)**. [s.l.] Springer Science & Business Media, v. 45. p. 413, 2012.

TAIZ, L. et al. **Plant physiology and development**. [s.l.] Sinauer Associates, Incorporated, v. 5, p.782, 2015. ISBN:9781605352558

TAUBER, Maurice J.; TAUBER, Catherine A. Biology and leaf-mining behaviour of *Phytomyza lanati* (Diptera: Agromyzidae). *The Canadian Entomologist*, v. 100, n. 04, p. 341-349, 1968.

TREMACOLDI, Célia Regina. Proteases e Inibidores de Proteases na Defesa de Plantas Contra Pragas. 2009. **Embrapa Amazônia Oriental**. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28164/1/Doc353.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2016.

VIEIRA, D. L. et al. Potassium silicate-induced resistance against blackfly in seedlings of *Citrus reticulata*. **Fruits**, v. 71, n. 1, p. 49-55, 2016.

VIUDA-MARTOS, M. et al. Tomato and tomato byproducts. Human health benefits of lycopene and its application to meat products: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 54, n. 8, p. 1032-1049, 2014.

YE, M. et al. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 38, p. E3631-E3639, 2013.

2 CAPÍTULO II

EFEITO DO SILÍCIO NO COMPORTAMENTO E NA BIOLOGIA DE *Liriomyza sativae* EM TOMATE

RESUMO

O tomateiro é susceptível ao ataque da mosca-minadora, *Liriomyza sativae*. As injúrias provocadas pela mosca-minadora comprometem a sanidade do vegetal, uma vez que, tanto as puncturas para alimentação quanto as galerias confeccionadas pelas larvas podem favorecer a entrada de patógenos, bem como reduzir a área fotossintética. Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de silício em tomateiros no comportamento e na biologia de *L. sativae*. Os tratamentos consistiram de aplicação via foliar e drench de silicato de potássio e dióxido de silício, em seguida realizou-se os ensaios. No ensaio de livre escolha avaliou-se a preferência alimentar e de oviposição de fêmeas. Já no ensaio de biologia avaliou-se a duração e viabilidade das fases imaturas, a razão sexual, longevidade e a sobrevivência dos adultos. Os resultados demonstraram que o silício pulverizado em tomateiros afeta o comportamento e o desenvolvimento de *L. sativae* podendo ser usado para controle dessa praga.

Palavras-chave: Silicato de potássio. Dióxido de silício. Manejo de pragas. Mosca-minadora. *Solanum lycopersicum*.

EFFECT OF SILICON IN THE BIOLOGY AND BEHAVIOR OF *Liriomyza sativae* IN TOMATO

ABSTRACT

The tomato is susceptible to the attack of leafminer fly, *Liriomyza sativae*. The injuries caused by the leafminer compromise the health of the plant, since both the punctures for food as the galleries made by the larvae can favor the entry of pathogens and reduce the photosynthetic area. Thus, it was aimed to evaluate the effect of silicon application on tomato plants in behavior and biology in *L. sativae*. The treatments consisted with drench and foliar application of potassium silicate and silicon dioxide, is then performed assays. The test free choice it was evaluated female food and oviposition preference. Already in biology test was evaluated the duration and viability of the immature stages, the sex ratio, longevity and survival of adults. The results demonstrated that sprayed silicon tomato affect the behavior and development of *L. sativae* could be used for control for this pest.

Key words: Potassium silicate. Silicon dioxide. Pest management. Leafminer fly. *Solanum lycopersicum*.

2.1 INTRODUÇÃO

A mosca-minadora, *Liriomyza sativae* (Blanchard) (Diptera: Agromyzidae) promove sérios prejuízos nas tomaticultura. As larvas de *L. sativae* ao se desenvolverem nas folhas das plantas de tomate causam até 65% de redução na fotossíntese (JOHNSON et al., 1983). Outra consequência é a entrada de patógenos oportunistas na cultura do tomate, através das puncturas de alimentação realizadas pelas fêmeas (LEITE et al., 2004). Destaca-se como uma praga de importância para a cultura do tomateiro, pois provoca redução na produtividade e traz prejuízos aos produtores. Em manejo convencional de *Liriomyza spp.* com o uso de inseticidas químicos, o nível de infestação pode representar até 65% das folhas de tomate (GUIMARÃES et al., 2009; LOPES FILHO, 1990; PRATISSOLI et al., 2015)

O uso de inseticidas químicos no manejo de *Liriomyza spp.* pode causar a morte de insetos benéficos, como os polinizadores, predadores (FOGEL et al., 2016) e parasitoides (FERNANDES et al., 2016), além de diversos outros problemas gerados como contaminação direta e indireta do homem e do meio ambiente (MOREIRA et al., 2002).

Métodos de manejo de *L. sativae* que sejam ambientalmente corretos, como os indutores de resistência de plantas ao ataque de insetos à base de silício são uma alternativa promissora para redução do uso de inseticidas sintéticos (ALMEIDA et al., 2009; GOMES; MORAES; NERI, 2009)

Os indutores de resistência de plantas a insetos, como o silício vem sendo usados nas culturas da batata, arroz, pepino, trigo, citros e crisântemo para controle e proteção contra *Bemisia tabaci*, *Tuta absoluta*, *Scirpophaga incertulas*, *Spodoptera frugiperda*, *Frankliniella schultzei* e *Liriomyza trifolii* (ALMEIDA et al., 2009; CORREA et al., 2005; DIAS et al., 2014; GOUSSAIN et al., 2002; JEONG et al., 2012; PARRELLA; COSTAMAGNA; KASPI, 2007; SANTOS et al., 2015; SIDHU et al., 2013; VIEIRA et al., 2016).

O silício é classificado como elemento benéfico às plantas superiores, por promover benefício em diversas culturas. Por exemplo, aumento na defesa contra o ataque de

pragas e patógenos (EXLEY, 2015), aumento de produtividade, tolerância a estresse salino e à déficit hídrico (CHEN et al., 2015; MASSEY; ENNOS; HARTLEY, 2006; ZHU; GONG, 2014)

Estudos recentes mostram que o silício desencadeia a produção de compostos voláteis responsáveis na defesa de plantas à insetos como o ácido jasmônico, além de ativar genes sinalizadores para a produção de enzimas importantes na defesa de plantas como a peroxidase, polifenoloxidase, e fenilalanina amônia-liase (GOMES et al., 2005; JEER et al., 2016; MASSEY; ENNOS; HARTLEY, 2006; RAHMAN; WALLIS; UDDIN, 2015; REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009).

O uso do silício como agente elictor de resistência vegetal e efeito protetor causado pela silicificação dos tecidos é um método promissor no manejo de *L. sativae* em tomateiros. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de silício em tomateiros no comportamento e na biologia de *L. sativae*.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Setor de Entomologia do NUDEMAFI (Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças), localizado no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE/UFES) em Alegre, Espírito Santo, Brasil.

2.2.1 Obtenção e criação de *L. sativae*

Os adultos de *L. sativae* foram obtidos da criação estoque do NUDEMAFI. A criação de *L. sativae* foi realizada através de adaptações a partir da metodologia descrita por Araujo et al. (2007), usando-se mudas de feijão de porco *Canavalia ensiformis* com 15 dias de emergidas foram oferecidas durante 24 horas aos adultos de *L. sativae* em gaiolas de criação revestidas com telas antiafídeos (60 cm de altura x 60 cm de largura x 40 cm de profundidade), em sala com temperatura de $25,0 \pm 1,0$ °C, umidade relativa de 60 ± 10 % e fotofase de 12 horas.

Em seguida, as mudas foram removidas e mantidas em casa de vegetação durante 5 dias para eclosão e desenvolvimento das larvas, depois, as folhas contendo larvas foram destacadas pelo pecíolo e retornam para a sala de criação, onde são alocadas em tubos de ensaio com o pecíolo imerso em água destilada, organizados em

suportes para tubos (27 x 20 cm) suspensos em prateleiras, permanecendo dessa forma até a emergência das pré-pupas em placas de Petri (100 x 20 mm) revestidos com filme de policloreto de vinila, até a emergência dos adultos, que por sua vez recebem solução com mel a 10% para maturação sexual e acasalamento.

2.2.2 Cultivo de tomate e aplicação de silício

Sementes comerciais de tomate, *Solanum lycopersicum* variedade Alambra F1 foram semeadas em bandejas de 200 células contendo substrato comercial para mudas Bioplant[®] mantidas em casa de vegetação climatizada. Aos 21 dias foram transferidas para vasos de politereftalato de etileno (PET) de fundo fechado com 2 dm³ de solo. A fertilização, foi realizada com base na recomendação de adubação proposta por Novaes, Neves e Barros (1991). A umidade do solo foi controlada através de pesagens diárias, duas vezes por dia até atingir a umidade de 60% do volume total de poros, conforme metodologia adotada por Freire et al. (1980).

Depois de 35 dias do transplante, as plantas foram transferidas para sala climatizada nas condições de 25,0 ± 1,0 °C temperatura, 60 ± 10 % de umidade relativa e fotofase 12 horas (Figura 2). Foi realizado o corte da gema apical para cessar o crescimento e a floração durante os ensaios. As plantas permaneceram nesse ambiente por 5 dias para aclimação.

Findo o período de aclimação, foi realizada a aplicação de silício nas plantas de tomate, que foram arranjadas em delineamento inteiramente casualizados com 4 repetições, e receberam dois produtos comerciais à base de silício: Agrisil Sil[®] (dióxido de silício) e Chelal Si[®] (silicato de potássio quelatizado) em duas formas de aplicação, foliar e drench e um grupo controle (Tabela 1).

Os produtos foram aplicados adotando-se a dosagem recomendada para a cultura do tomateiro 24 horas antes da infestação/oviposição, usando-se pulverizador com pressão calibrada à 40 lb/pol² para à pulverização, e um béquer graduado de 50 ml para o drench, em um volume de calda de 40ml/planta (definido por pré-teste sobre o tratamento testemunha).

Figura 2 — Disposição das plantas de tomate em sala climatizada para realização dos ensaios.



Fonte: O autor (2016).

Tabela 1 — Fontes de silício.

Tratamento	Produto	Substância	Forma de aplicação	Concentração ²
SiO ₂ /F	Agrisil [®]	SiO ₂ + Tween 80 ¹	Pulverização	1,18g L ⁻¹ (0,01% da calda)
SiO ₂ /S	Agrisil [®]	SiO ₂	Drench	1,18g L ⁻¹ (0,01% da calda)
K ₂ SiO ₃ /F	Chelal Si [®]	K ₂ SiO ₃ + Tween 80 ¹	Pulverização	20 ml L ⁻¹ (2,0 % da calda)
K ₂ SiO ₃ /S	Chelal Si [®]	K ₂ SiO ₃	Drench	20 ml L ⁻¹ (2,0 % da calda)
Testemunha	-	Água destilada + Tween 80 ¹	Pulverização	-

F: Foliar, S: Solo; ¹Tensoativo não iônico (Polisorbato) em 0,01% da calda; ²Concentração recomendada para a cultura do tomateiro pelo fabricante.

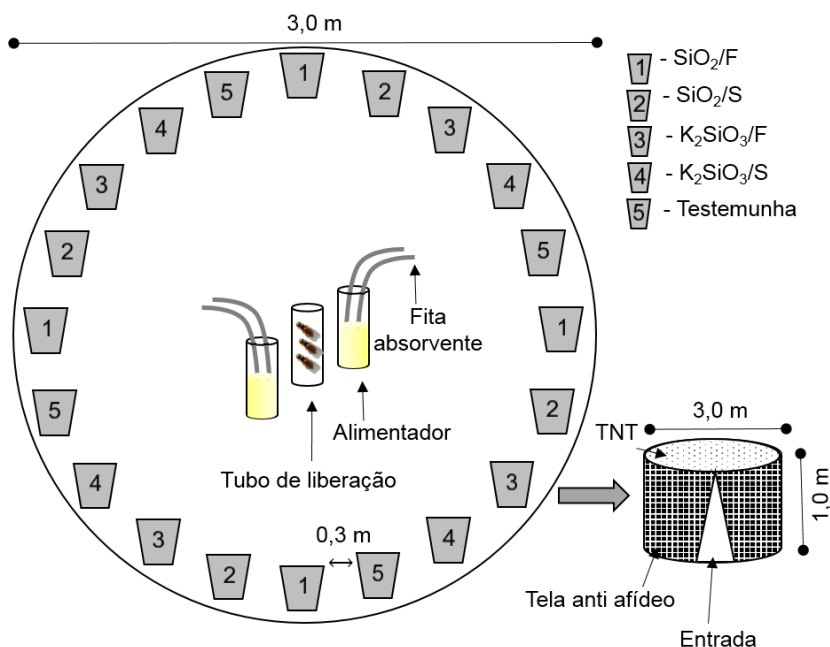
2.2.3 Ensaio de livre escolha de *L. sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício

Tomateiros com 40 dias foram sorteados e tiveram os tratamentos aplicados conforme Tabela 1, após 24h foram dispostos em uma arena circular (), sem que nenhum tecido fosse danificado para não provocar alterações na fisiologia da planta. Dessa forma, cada tratamento estava representado por 4 repetições dentro da arena, foi adotado uma proporção de 4 casais por planta, totalizando 80 casais acasalados por 36 horas.

Como fonte de alimento, os insetos receberam solução contendo mel à 10% oferecidos por capilaridade com auxílio de fitas de papel absorvente (1 x 10 cm) em dois tubos de ensaio (30 ml). Durante o período experimental a arena esteve instalada em casa de vegetação com sombreamento 50%, e com registro de temperatura ($26,10 \pm 1,53$ °C) e Umidade Relativa ($55,22 \pm 13,35$ %), através de registrador eletrônico de temperatura e umidade relativa modelo KG100.

O período de exposição das plantas aos casais foi de 24 horas. Em seguida as plantas foram conduzidas ao laboratório para contagem do número de ovos depositados, e puncturas de alimentação no mesófilo foliar de todos os folíolos através de estereoscópio.

Figura 3 — Arena usada para avaliação do comportamento de *L. sativae* sob livre escolha em tomateiros submetidos à aplicação de silício; **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada;



Fonte: O autor (2016).

2.2.4 Ensaio de biologia de *L. sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício

Para o estudo do desenvolvimento de *L. sativae* nos tomateiros, foi realizado o isolamento a partir de adultos recém emergidos oriundos da criação estoque do NUDEMAFI, as fêmeas foram identificadas a partir da presença do aparelho ovipositor no último segmento abdominal (OATMAN; MICHELbacher, 1959). Dessa maneira foram constituídos 10 casais de *L. sativae*. Os casais foram confinados em microtubos de polimetil-metacrilato (10 ml) para maturação sexual e acasalamento durante 24 horas, e mantidos em câmara climática na temperatura de $25,0 \pm 1,0$ °C, umidade relativa de UR 60 ± 10 % e fotofase 12 horas.

Após esse período, os casais de *L. sativae* foram transferidos para gaiolas confeccionadas com tecido não tecido (TNT) de dimensões (22 x 15 cm) nas plantas de tomate conforme Figura 4. Permitiu-se a oviposição por 24 horas em duas folhas completas do terço médio superior (sete folíolos) dos tomateiros contendo silício. Após esse período, os adultos foram removidos com aspirador manual e descartados.

As avaliações ocorreram diariamente no mesmo horário, registrando-se a duração e viabilidade dos ovos, larvas e pupas, em seguida a razão sexual e a longevidade da fase adulta, baseando-se em Araujo et al., (2013). A viabilidade (V) dos ovos, larvas, pupas e total, e a razão sexual (RS) foram calculadas conforme as fórmulas (1)

Os dados de duração e viabilidade foram submetidos a análise de variância One-Way (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Em segundo lugar, foi avaliada a sobrevivência dos adultos usando-se o estimador de Kaplan-Meier (KM) pelo método de Log-Rank ($P \leq 0,05$) para estimar a aproximação das curvas de sobrevivência. Em um primeiro momento, as curvas foram analisadas todas juntas, em seguida foram comparadas aos pares pelo teste de comparações múltiplas de Bonferroni ($P \leq 0,05$) para agrupar as curvas estimadas conforme Colosimo e Giolo (2006).

$$V_{\text{ovo}}(\%) = \frac{(\text{n}^\circ \text{ de larvas} \times 100)}{\text{N}^\circ \text{ total de ovos}} \quad V_{\text{larval}} = \frac{(\text{n}^\circ \text{ de pupas} \times 100)}{\text{n}^\circ \text{ total de larvas}} \quad V_{\text{pupal}} = \frac{(\text{n}^\circ \text{ de adultos} \times 100)}{\text{n}^\circ \text{ total de pupas}}$$

$$V_{\text{total}} = \frac{(\text{N}^\circ \text{ de Adultos} \times 100)}{\text{N}^\circ \text{ total de ovos}} \quad \text{RS} = \frac{(\text{n}^\circ \text{ de fêmeas})}{(\text{n}^\circ \text{ machos} + \text{fêmeas})}$$

(1)

Figura 4 — Detalhe das gaiolas usadas para obtenção de oviposição de *Liriomyza sativae* em folhas de tomateiros.



Fonte: O autor (2016).

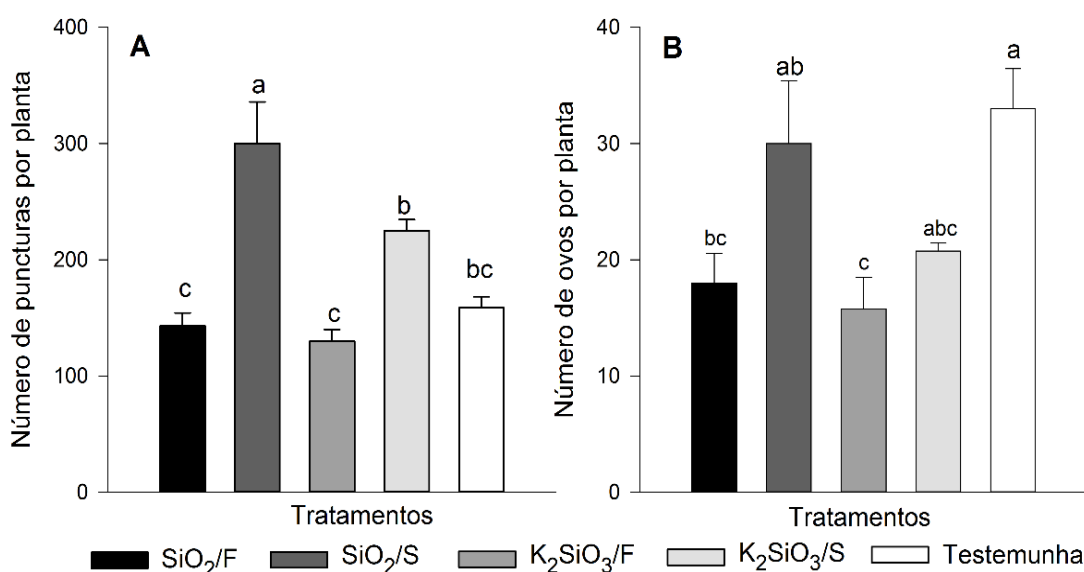
O delineamento usado nos ensaios foi inteiramente casualizado, os dados foram submetidos à análise de variância One Way (ANOVA) com $P=0,005$, e teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov com $P<0,050$, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P\leq 0,05$).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Ensaio de livre escolha de *L. sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício

Houve preferência alimentar de fêmeas de *L. sativae* em tomateiros com SiO_2/S ($P<0,001$), em comparação com plantas sem silício (Testemunha). Não houve efeito sobre a preferência de alimentação de fêmeas de *L. sativae* em tomateiros com SiO_2/F , $\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{F}$, e $\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{S}$ quando comparados com a Testemunha (Figura 5 - A). Houve menor número de ovos ($P = 0,004$) nos tomateiros tratados com $\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{F}$ e SiO_2/F , no entanto, os tomateiros que foram tratados com $\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{S}$ e SiO_2/S não diferiram da testemunha (Figura 5 - A).

Figura 5 — Livre escolha para alimentação e oviposição de *Liriomyza sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício; A - Preferência alimentar, B Preferência de oviposição; Barras seguidas de mesma letra no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$); **SiO_2/F** : Agrisil® pulverização $1,18\text{g L}^{-1}$, **SiO_2/S** : Agrisil® Drench $1,18\text{g L}^{-1}$, **$\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{F}$** : Chelal Si® Pulverização 20 ml L^{-1} , **$\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{S}$** : Chelal Si® Drench 20 ml L^{-1} , **Testemunha**: Água destilada Temperatura média mínima e máxima ($24,0$ e $27,8\text{ }^\circ\text{C}$), Umidade relativa média mínima e máxima (35 e 77%).



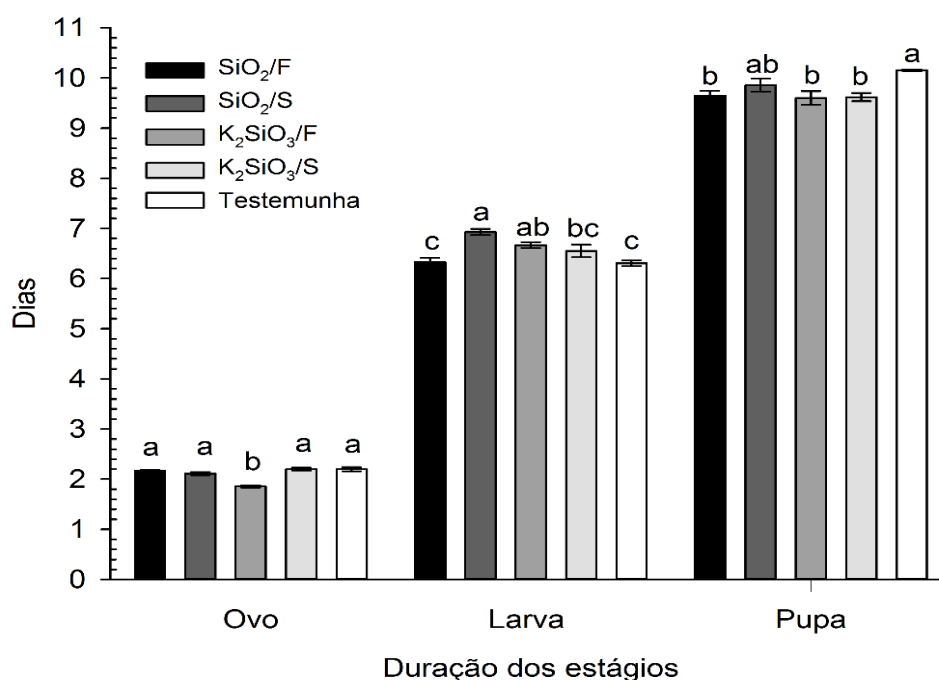
Fonte: O autor (2016).

2.3.2 Biologia de *L. sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício

Houve redução na duração do estágio ovo de *L. sativae* nas plantas tratadas com K_2SiO_3/F , quando comparado às plantas sem silício (Testemunha). Os demais tratamentos se igualaram à Testemunha $P<0,05$. A duração da larva foi maior nos tratamentos SiO_2/S e K_2SiO_3/F , e não houve alteração da duração nos tratamentos SiO_2/F e K_2SiO_3/S , quando comparado à Testemunha. Houve redução na duração da pupa em SiO_2/F , K_2SiO_3/F , e K_2SiO_3/S quando comparados à Testemunha $P<0,05$. Apenas o tratamento SiO_2/S não diferiu da Testemunha (Figura 6).

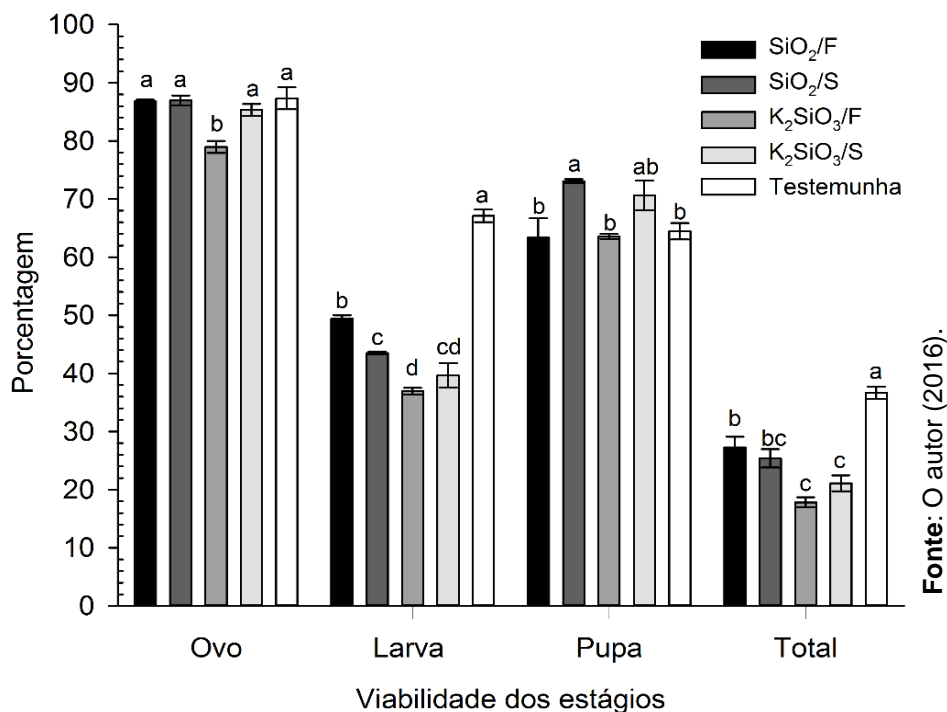
A viabilidade dos ovos apresentou redução no tratamento K_2SiO_3/F (78,95%), quando comparado à Testemunha (87,34%), por outro lado, os demais tratamentos (SiO_2/F , SiO_2/S , K_2SiO_3/S) não reduziram à viabilidade dos ovos, igualando-se à Testemunha. Apesar disso, a viabilidade das larvas foi menor nos tratamentos SiO_2/F (49,44%), SiO_2/S (43,51%), K_2SiO_3/F (36,93%), e K_2SiO_3/S (39,68%), em comparação com à Testemunha (67,11%) $P<0,05$ (Figura 7).

Figura 6 — Duração dos estágios de *Liriomyza sativae* desenvolvidas em tomateiros submetidos à aplicação de silício; Barras agrupadas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($P<0,05$); **SiO_2/F** : Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO_2/S** : Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K_2SiO_3/F** : Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K_2SiO_3/S** : Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura (25,0 ± 1,0 °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas).



Fonte: O autor (2016).

Figura 7 — Viabilidade dos estágios de *Liriomyza sativae* desenvolvidas em tomateiros submetidos à aplicação de silício; Barras agrupadas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura ($25,0 \pm 1,0$ °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas).

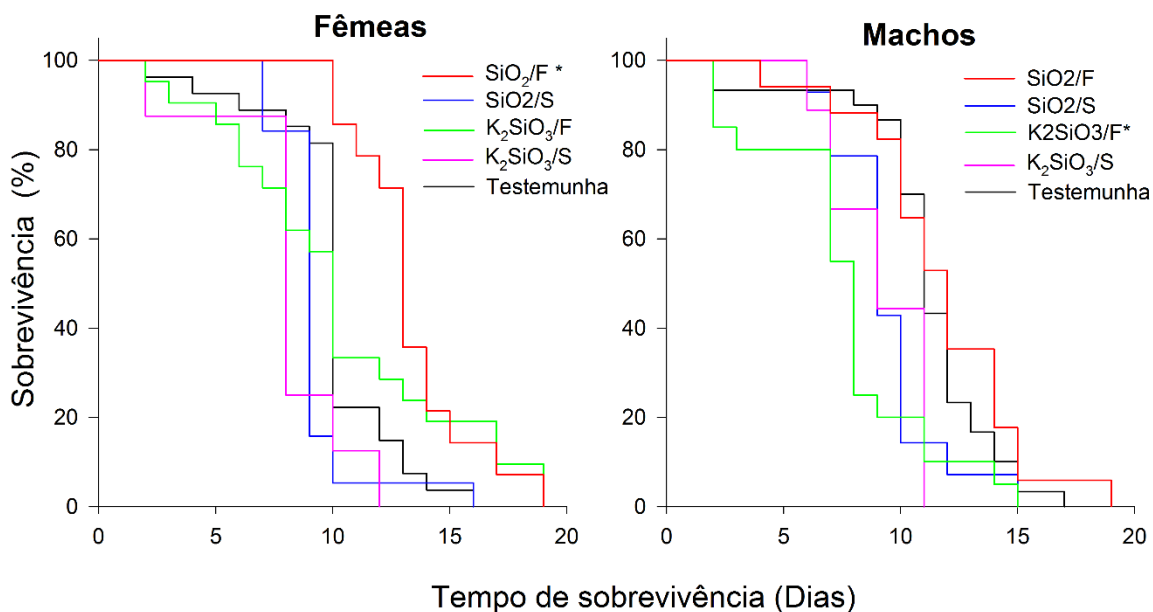


Houve redução na viabilidade total de *L. sativae* em todos os tratamentos que foram submetidos à aplicação de silício, em comparação com a Testemunha. Os tratamentos K₂SiO₃/F e K₂SiO₃/S apresentaram menor viabilidade total, 17,82% e 21,10% respectivamente, comparados com à Testemunha (36,66%) (Figura 7). Os tratamentos submetidos à aplicação de silício não alteraram a razão sexual dos adultos (ANOVA = 0,144).

As curvas de sobrevivência mostraram que as fêmeas de *L. sativae* quando desenvolvidas nos tomateiros tratados com SiO₂/F apresentam maior probabilidade de sobrevivência, quando comparado com plantas sem silício (Testemunha) $P = < 0,001$. Os tratamentos SiO₂/S, K₂SiO₃/F, e K₂SiO₃/S não afetaram a probabilidade de sobrevivência das fêmeas $P = < 0,001$ (Figura 8).

Entretanto, houve baixa probabilidade de sobrevivência dos machos desenvolvidos nos tomateiros do tratamento K₂SiO₃/F, em comparação com a Testemunha. Contudo, os tratamentos SiO₂/F, SiO₂/S, e K₂SiO₃/S não afetaram a sobrevivência dos machos $P = < 0,001$ (Figura 8).

Figura 8 — Probabilidade de sobrevivência de fêmeas e machos desenvolvidos em tomateiros submetidos à aplicação de silício; **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura (25,0 ± 1,0 °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas); *Curvas significativamente diferentes: Fêmeas Log-Rank (P=<0,001) Machos: Log-Rank(P=<0,001).



Fonte: O autor (2016).

O silício aplicado em tomateiros, provoca alterações comportamentais em fêmeas de *L. sativae*, inibindo a oviposição, quando a aplicação é feita via foliar (SiO₂/F e K₂SiO₃/F) (Figura 5). Parte do silício aplicado nas folhas é absorvido, e depositado na parede celular na forma de sílica amorfa (BALASTA et al., 1989), a sílica é depositada nas células da membrana plasmática onde permanece imóvel, porém desencadeando uma cascata de alterações bioquímicas/moleculares, genéticas e estruturais (GUERRIERO; HAUSMAN; LEGAY, 2016; LIANG et al., 2015).

Antes de escolher a folha ou planta adequada para a deposição dos ovos, a *L. sativae* se alimenta dessa por meio de punctura de alimentação, caso a composição bioquímica/ nutricional das células do mesófilo foliar esteja inadequado para deposição dos ovos a fêmea não a escolhe para oviposição (PARRELLA, 1987). A silicificação da membrana plasmática foliar pode ter influenciado na preferência de oviposição, pois apenas nos tratamentos SiO₂/F e K₂SiO₃/F houve menor número de ovos em comparação com à Testemunha (Figura 5).

O silício aplicado nos tomateiros afeta a biologia de *L. sativae*, alterando a duração dos ovos, larvas e pupas (Figura 6). Além disso, reduz a viabilidade de ovos, larvas,

pupas e viabilidade total (Figura 7), do mesmo modo, reduz a sobrevivência dos machos (Figura 8).

As alterações morfológicas que o silício proporciona nas plantas, são também chamadas de biosilificação, enrijecem a membrana plasmática e com isso aumenta a abrasividade pela deposição dos cristais de sílica, o que dificulta a alimentação dos insetos herbívoros (ALMEIDA et al., 2009; GOUSSAIN et al., 2002; SANTOS et al., 2012).

Quando dentro do mesófilo dos tomateiros tratados com silício via foliar, as larvas de *L. sativae* provavelmente tiveram dificultada a alimentação pelo aumento da abrasividade dessas células, isso justifica as alterações na duração das larvas, na baixa viabilidade das larvas, na duração e viabilidade de pupas, e sobrevivência de machos nos tratamentos SiO_2/F e $\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{F}$ (Figura 6, Figura 7, Figura 8).

Por exemplo, alterações histológicas foram detectadas no epitélio intestinal em lagartas de *Scirpophaga incertulas*, ao alimentar-se de folhas com silício foliar (JEER et al., 2016), e no desgaste da mandíbula de lagartas de *Tuta absoluta* (SANTOS et al., 2015). Além disso, outros trabalhos relatam efeitos similares em tomateiros quando a aplicação de silício foi via foliar, como por exemplo a redução do período larval, pupal, diminuição da sobrevivência de lagartas e pupas, além da diminuição do peso de pupas da traça-do-tomateiro *T. absoluta* (SANTOS et al., 2012).

Do mesmo modo, Santos, Junqueira e Freitas (2013), demonstraram que, a aplicação foliar de silício em tomateiros, os tornam mais resistentes à traça do Tomateiro *Tuta absoluta*, assim apresentando menores injúrias. Além disso, Parrella, Costamagna e Kaspi (2007) mostram elevada mortalidade da mosca-minadora *Liriomyza trifolii* e indução de resistência em plantas de crisântemo com aplicação foliar de silicato de potássio, o que também justifica as evidências dos resultados desse trabalho.

Além das barreiras físicas ocasionadas pela aplicação de silício via foliar (biosilificação) (GUERRIERO; HAUSMAN; LEGAY, 2016), é desencadeado um processo de indução de resistência pela sinalização bioquímica da planta por meio de genes e aminoácidos (DETMANN et al., 2013; GHAREEB, H. et al. 2011), e enzimas mensageiras que promovem um aumento na produção de metabólitos secundários de defesa que podem ser repelentes e/ou tóxicos para os insetos como o ácido jasmônico

(VIEIRA et al., 2016), e os compostos fenólicos como as enzimas peroxidase, polifenoloxidase, e fenilalanina amônia-liase (GOMES et al., 2005; RAHMAN; WALLIS; UDDIN, 2015; REYNOLDS et al., 2016; YE et al., 2013).

O mecanismo de absorção e translocação do silício via sistema radicular nos tomateiros não responde da mesma forma do que a via foliar, essa última é mais eficiente no processo de indução de resistência nos tomateiros (ANDRADE et al., 2013). As aplicações foliares são mais eficientes para proteger o tomateiro contra *L. sativae*, como mostram os resultados desse trabalho.

A aplicação de silício protege os tomateiros contra às injúrias de *L. sativae*, provavelmente estimulando a o aumento na produção de compostos tóxicos de defesa, assim justificando os efeitos deletérios nos parâmetros biológicos e a não preferência de oviposição de *L. sativae* para oviposição.

2.4 CONCLUSÃO

O silício confere proteção aos tomateiros contra as injúrias provocadas por *L. sativae*, afetando o comportamento e a biologia de *L. sativae*. O silício quando aplicado nos tomateiros via foliar inibe a oviposição das fêmeas, reduz a viabilidade da fase imatura e a sobrevivência dos adultos machos de *L. sativae*.

O SiO_2/F e $\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{F}$ são eficientes no manejo de *L. sativae* em tomateiros.

2.5 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. D. et al. Calcium silicate and organic mineral fertilizer increase the resistance of tomato plants to *Frankliniella schultzei*. **Phytoparasitica: Israel journal of plant protection sciences**, v. 37, n. 3, p. 225-230, 2009.
- ANDRADE, C. C. L. et al. Silicon reduces bacterial speck development on tomato leaves. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, p. 436-442, 2013.
- ARAUJO, E. L. et al. Técnica de criação da mosca minadora *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae). **Campo digital**, v. 2, n. 1, p. 22-26, 2007.
- ARAUJO, E. L. et al. Biological aspects of the leafminer *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) on melon (*Cucumis melo* L.) **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 579-582, 2013.
- BALASTA, M. L. F. C. et al. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, v. 67, n. 8, p. 2356-2363, 1989.

- CHEN, Y. et al. Proteomic characterization of silicon-mediated resistance against *Ralstonia solanacearum* in tomato. **Plant and Soil**, v. 387, n. 1-2, p. 425-440, 2015.
- COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. Análise de sobrevivência aplicada. In: **ABE-Projeto Fisher**. Edgard Blücher, São Paulo-SP, 392 p, 2006.
- CORREA, R. S. B. et al. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. June, p. 429-433, 2005.
- DETMANN, K. C. et al. Metabolic alterations triggered by silicon nutrition Is there a signaling role for silicon ? **Plant signaling & behavior**, v. 8, n. 1, p. 71-74, 2013.
- DIAS, P. A S. et al. Induction of resistance by silicon in wheat plants to Alate and Apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental entomology**, v. 43, n. 4, p. 949-56, 1 aug. 2014.
- EXLEY, C. A possible mechanism of biological silicification in plants. **Frontiers in plant science**, v. 6, n. Oct, p. 1-7, 9 out. 2015.
- FERNANDES, M. E. S. et al. Lethal and sublethal effects of seven insecticides on three beneficial insects in laboratory assays and field trials. **Chemosphere**, v. 156, p. 45-55, aug. 2016.
- FOGEL, M. N. et al. Toxicity assessment of four insecticides with different modes of action on pupae and adults of *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae), a relevant predator of the Neotropical Region. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 15, p. 14918-14926, 14 aug. 2016.
- FREIRE, J. C. et al. Resposta do milho em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 5-8, 1980.
- GHAREEB, H. et al. Transcriptome of silicon-induced resistance against *Ralstonia solanacearum* in the silicon non-accumulator tomato implicates priming effect. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 75, n. 3, p. 83-89, jan. 2011.
- GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.
- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. 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**, Piracicaba, v. 33, n. 1, p. 18-23, 2009.
- GOUSSAIN, M. et al. Efeito da Aplicação de Silício em Plantas de Milho no Desenvolvimento Biológico da Lagarta-do-Cartucho *Spodoptera frugiperda*(J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.
- GUERRIERO, G.; HAUSMAN, J.-F.; LEGAY, S. Silicon and the plant extracellular matrix. **Frontiers in plant science**, v. 7, n. 463, p.1-8, 2016.

GUIMARÃES, J. A. et al. Avaliação da Resistência de Híbridos de Melão Tipo Amarelo à Mosca Minadora. Embrapa Hortaliças, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 16, v. 54, 2009.

JEER, M. et al. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) damage in rice. **Journal of Applied Entomology**, p. 1-13, May. 2016, DOI: 10.1111/jen.12324.

JEONG, K. J. et al. Silicon application on standard chrysanthemum alleviates damages induced by disease and aphid insect. **Korean Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 30, n. 1, p. 21-26, 2012.

JOHNSON et al. Reduction of tomato leaflet photosynthesis rates by mining activity of *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 76, n. 5, p. 1061-1063, 1983.

LEITE, G. L. D. et al. Intensity of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917)(Lepidoptera: Gelechiidae) and *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) attacks on *Lycopersicum esculentum* mill. leaves. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 1, p. 42-48, 2004.

LIANG, Y. et al. **Silicon in Agriculture**, Springer, 2015.

LOPES FILHO, F. Tomate industrial no submédio São Francisco e as pragas que limitam sua produção. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 25, n. 2, p. 283-288, fev. 1990.

MASSEY, F. P.; ENNOS, A. R.; HARTLEY, S. E. Silica in grasses as a defence against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. **Journal of Animal Ecology**, v. 75, n. 2, p. 595-603, 2006.

MOREIRA, J. C. et al. Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo, RJ. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 7, n. 2, p. 299-311, 2002.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Araújo, J.D.; Lourenço, S. (Eds.). **Métodos de Pesquisa em Fertilidade do Solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, Brasília, DF. p. 189-255. 1991.

OATMAN, E. R.; MICHELbacher, A. E. The Melon Leaf Miner *Liriomyza pictella* (Thomson) (Diptera: Agromyzidae) II. Ecological Studies. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 52, n. 1, p. 83-89, 1 jan. 1959.

PARRELLA, M. P. Biology of *Liriomyza*. **Annual Review of Entomology**, v. 32:, n. 76, p. 201-224, 1987.

PARRELLA, M. P.; COSTAMAGNA, T. P.; KASPI, R. The addition of potassium silicate to the fertilizer mix to suppress *Liriomyza* leafminers attacking chrysanthemums **Acta Hort.** 747, 365-370, 2007. DOI:10.17660/ActaHortic.2007.747.45.

PRATISSOLI, D. et al. Incidence of leaf miner and insect vectors for pest management systems in the tomato. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 607-614, 2015.

RAHMAN, A.; WALLIS, C. M.; UDDIN, W. Silicon-Induced Systemic Defense Responses in Perennial Ryegrass Against Infection by *Magnaporthe oryzae*. **Phytopathology**, v. 105, n. 6, p. 748-757, 2015.

REYNOLDS, O. L. et al. Silicon: Potential to Promote Direct and Indirect Effects on Plant Defense Against Arthropod Pests in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 744, p.1-13, 2016.

SANTOS, M. C. et al. Effect of silicon on the morphology of the midgut and mandible of tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) larvae. **Invertebrate Survival Journal**, v. 12, p. 158-165, 2015.

SANTOS, M. C. DOS; et al. Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 76-88, 2012.

SANTOS, M. C. DOS; JUNQUEIRA, A. M. R.; FREITAS, L. M. DE; EFEITO DO SILÍCIO, NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA INCIDÊNCIA DA TRAÇA-DO-TOMATEIRO EM PLANTAS PARA PROCESSAMENTO INDUSTRIAL. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 19-24, 2013.

SIDHU, J. K. et al. Effect of silicon soil amendment on performance of sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) on rice. **Bulletin of entomological research**, v. 103, n. 6, p. 656-64, 2013.

VIEIRA, D. L. et al. Potassium silicate-induced resistance against blackfly in seedlings of *Citrus reticulata*. **Fruits**, v. 71, n. 1, p. 49-55, 2016.

YE, M. et al. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 38, p. E3631- E3639, 2013.

ZHU, Y.; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 455-472, 2014.

3 CAPÍTULO III

TABELA DE VIDA E FERTILIDADE DE *Liriomyza sativae* (DIPTERA: AGROMYZIDAE) EM TOMATEIROS SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE SILÍCIO

RESUMO

A mosca-minadora *L. sativae* é um inseto de importância econômica para a cultura do tomateiro. Com um comportamento alimentar polífago, este inseto se dispersa com facilidade dentro das principais lavouras comerciais de batata, feijão, melão e tomate. O controle convencional com inseticidas é complexo devido ao hábito alimentar minador que confere proteção às larvas no interior das folhas. Diante disso, os agricultores podem optar por agentes de controle biológico, ou substâncias que conferem proteção ao vegetal como o silício por exemplo. Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito do silício na biologia de *L. sativae* em tomateiros. Os tratamentos constituíram-se da aplicação via foliar e drench de silicato de potássio e dióxido de silício e após 24 horas realizou-se o ensaio. Com os dados biológicos foram confeccionadas as Tabelas de Vida de Fertilidade (TVF) e calculados os parâmetros de crescimento populacional pela estimativa de Jackknife. Os resultados demonstraram que o silicato de potássio e dióxido de silício confere resistência em tomateiros causando antibiose alimentar em *L. sativae*.

Palavras-chave: Bioecologia. Manejo de Pragas. Mosca-minadora. *Solanum lycopersicum*.

**FERTILITY LIFE TABLE OF *Liriomyza sativae* (DIPTERA: AGROMYZIDAE) IN
TOMATO SUBMITTED TO SILICON APPLICATION**

ABSTRACT

Leafminer fly *L. sativae* is a bug of economically important to the tomato cropping. With polyphagous feeding behavior, this insect dispersed easily in major crops and commercial potato, beans melons and tomato. The conventional control with insecticides is complex due to leafminer food habit that provides protection to the larvae inside the leaves. Therefore, farmers can choose to biological control agents or substances that protect the plant such as silicon for example. Thus, this study aimed to evaluate the effect of silicon on *L. sativae* biology at tomato plants. The treatments were constituted from application foliar and drench of potassium silicate and silicon dioxide and after 24 hours was carried out the test. With biological data were made the Fertility Life Tables (TVF) and calculated parameters of population growth by Jackknife estimation. Results showed that potassium silicate and silicon dioxide confers resistance in tomato, cause antibiosis, affect fertility, and survival on F1 females *L. sativae*.

Key words: Bioecology. Pest Management, Leafminer fly, *Solanum lycopersicum*.

3.1 INTRODUÇÃO

A mosca-minadora *Liriomyza sativae* (Blanchard) (Diptera: Agromyzidae) promove sérios prejuízos nos ecossistemas agrícolas. As larvas de *L. sativae* ao se desenvolverem nas folhas das plantas de feijão, batata, alface, melancia, melão e tomate causam redução na área fotossintética, entrada de microrganismos patogênicos principalmente na cultura do tomate (ARAUJO et al., 2013; JOHNSON et al., 1983; LEITE et al., 2004; MUSUNDIRE; CHABI-OLAYE; KRÜGER, 2012).

As injúrias provocadas por *Liriomyza* spp. em tomateiros pode comprometer até 65% das folhas (PRATISSOLI et al., 2015). Para reduzir o ataque de *Liriomyza*, os agricultores podem utilizar além de inseticidas sintéticos, agentes de controle biológico como predadores (POHL et al, 2012), parasitóides (FOBA et al., 2015), e microrganismos entomopatogênicos (MIGIRO et al., 2011), bem como indutores de resistência vegetal (ABE et al., 2013; VIEIRA et al., 2016)

Dentre os indutores de resistência de plantas a insetos, o silício vem sendo usado nas culturas de arroz, milho, trigo, cana de açúcar, batata, tangerina e tomate, para controle da broca do caule do arroz *Scirpophaga incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae), lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), pulgão verde *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), broca-da-cana *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae), vaquinha *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae), mosca-minadora *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae), mosca negra dos citros *Aleurocanthus woglumi* (Ashby) (Hemiptera: Aleyrodidae), e a traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), sendo classificado como elemento benéfico às plantas superiores, por promover defesa contra ataques de pragas, aumento de produtividade e resistência à estresse abiótico (GOMES; MORAES; NERI, 2009; GOMES et al., 2005; GOUSSAIN et al., 2002; JEER et al., 2016; KVEDARAS et al., 2009; SANTOS et al., 2015; VIEIRA et al., 2016)

Em plantas monocotiledóneas como o arroz, milho e cana de açúcar, e algumas dicotiledóneas como o pepino, crisântemo e o tomateiro o silício promove alterações morfológicas pela deposição de sílica amorfa na membrana plasmática das folhas, além disso são ativados mecanismos genéticos e moleculares, que, mediam a

produção de compostos tóxicos aliados à defesa de plantas contra insetos (DETMANN et al., 2013; GUERRIERO; HAUSMAN; LEGAY, 2016; REYNOLDS et al., 2016)

Estudos recentes mostram que o silício desencadeia a produção de compostos importantes pela defesa de plantas à insetos como o ácido jasmônico, e enzimas como a peroxidase, polifenoxidase, e fenilalanina amônia-liase (GOMES et al., 2005; JEER et al., 2016; MASSEY; ENNOS; HARTLEY, 2006; RAHMAN; WALLIS; UDDIN, 2015). Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do silício na biologia de *L. sativae* em tomateiros.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no setor de Entomologia do NUDEMAFI (Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças), localizado no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE/UFES) em Alegre, Espírito Santo, Brasil.

3.2.1 Obtenção e criação de *L. sativae*

Os adultos de *L. sativae* foram obtidos da criação estoque do NUDEMAFI. A criação de *L. sativae* foi realizada através de adaptações a partir da metodologia descrita por Araujo et al. (2007), mudas de feijão de porco *Canavalia ensiformis* com 15 dias de emergidas foram oferecidas durante 24 horas aos adultos de *L. sativae* em gaiolas de criação revestidas com telas antiáfideos (60 cm de altura x 60 cm de largura x 40 cm de profundidade), em sala com temperatura de $25,0 \pm 1,0$ °C, umidade relativa de 60 ± 10 % e fotofase de 12 horas.

Em seguida, as mudas foram removidas e mantidas em casa de vegetação durante 5 dias para eclosão e desenvolvimento das larvas, depois, as folhas contendo larvas foram destacadas pelo pecíolo e retornam para a sala de criação, onde são alocadas em tubos de ensaio com o pecíolo imerso em água destilada, organizados em suportes para tubos (27 x 20 cm) suspensos em prateleiras, permanecendo dessa forma até a emergência das pré-pupas em placas de Petri (100 x 20 mm) revestidas com filme de policloreto de vinila, até a emergência dos adultos, que por sua vez recebem solução com mel a 10% para maturação sexual e acasalamento.

3.2.2 Cultivo de tomate e aplicação de silício

Sementes comerciais de Tomate, *Solanum lycopersicum* variedade Alambra F1 foram semeadas em bandejas sementeiras de 200 células contendo substrato comercial para mudas Bioplant® mantidas em casa de vegetação climatizada (Temperatura e umidade). Aos 21 dias do plantio, as mudas foram transferidas para vasos de politereftalato de etileno (PET) de fundo fechado com 2 dm³ de solo. A fertilização foi realizada com bases na recomendação de adubação proposta por Novaes, Neves e Barros (1991). A umidade do solo foi controlada através de pesagens diárias, duas vezes por dia até atingir a umidade de 60% do volume total de poros conforme metodologia adotada por Freire et al. (1980).

Depois de 35 dias do transplante, as plantas foram transferidas para sala climatizada nas condições de $25,0 \pm 1,0$ °C temperatura, 60 ± 10 % de umidade relativa e fotofase 12 horas (Figura 9). Foi realizado o corte da gema apical para cessar o crescimento e a floração durante os ensaios. As plantas permaneceram nesse ambiente por 5 dias para aclimação.

Figura 9 — Disposição das plantas de tomate em sala climatizada para realização dos ensaios.



Fonte: O autor (2016).

Findo o período de aclimatação, foi realizada a aplicação de silício nas plantas de tomate, que foram arranjadas em delineamento inteiramente casualizados com 4 repetições, e receberam dois produtos comerciais à base de silício: Agrisil Sil® (dióxido de silício) e Chelal Si® (silicato de potássio quelatizado) em duas formas de aplicação, foliar e drench e um grupo controle (Tabela 2).

Os produtos foram aplicados adotando-se a dosagem recomendada para a cultura do tomateiro 24 horas antes da infestação/oviposição, usando-se pulverizador com pressão calibrada à 40 lb/pol² para à pulverização, e um béquer graduado de 50 ml para o drench, em um volume de calda de 40ml/planta (definido por pré-teste sobre o tratamento testemunha).

Tabela 2 — Fontes de silício.

TRATAMENTOS	Produto	Substância	Forma de aplicação	Concentração ²
SiO ₂ /F	Agrisil ®	SiO ₂ + Tween 80 ¹	Pulverização	1,18g L ⁻¹ (0,01% da calda)
SiO ₂ /S	Agrisil ®	SiO ₂	Drench	1,18g L ⁻¹ (0,01% da calda)
K ₂ SiO ₃ /F	Chelal Si ®	K ₂ SiO ₃ + Tween 80 ¹	Pulverização	20 ml L ⁻¹ (2,0 % da calda)
K ₂ SiO ₃ /S	Chelal Si ®	K ₂ SiO ₃	Drench	20 ml L ⁻¹ (2,0 % da calda)
Testemunha	-	Água destilada + Tween 80 ¹	Pulverização	-

F: Foliar, S: Solo; ¹Tensoativo não iônico (Polisorbato) em 0,01% da calda; ²Concentração recomendada para a cultura do tomateiro pelos fabricantes.

Os ensaios foram realizados em dois lotes de tomateiros (1^o e 2^o lote) com intervalo de 17 dias entre ambos, em cada lote foram aplicados os tratamentos descritos na Tabela 2. A geração Parental (P) de *L. sativae* foi obtida de plantas tratadas com silício (1^o lote de tomateiros), os indivíduos da prole F1 também foram desenvolvidos em plantas com silício (2^o lote de tomateiros). Apenas os a prole F1 de *L. sativae* foi avaliada nesse trabalho.

3.2.3 Obtenção da geração Parental (P)

Para a obtenção da geração (P) foi realizado o isolamento a partir de adultos recém emergidos, oriundos da criação estoque do NUDEMAFI, assim constituindo 10 casais de *L. sativae*. Os casais foram confinados em microtubos de polimetil-metacrilato (10 ml) para maturação sexual e acasalamento por 24 horas, e mantidos em câmara

climática na temperatura de $25,0 \pm 1,0$ °C, umidade relativa de UR 60 ± 10 % e fotofase 12 horas.

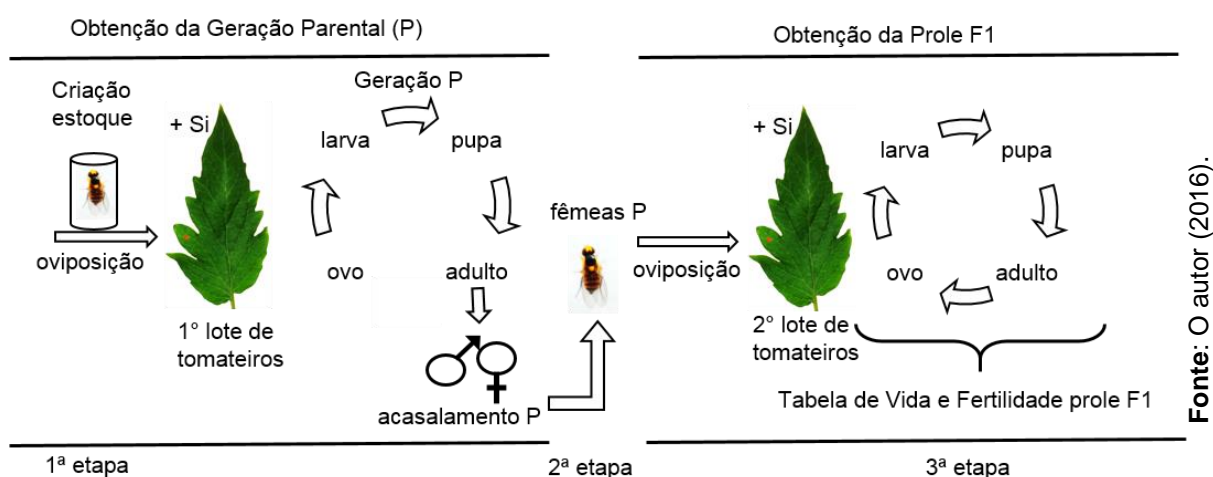
Após esse período os casais de *L. sativae* foram confinados em gaiolas confeccionadas com tecido não tecido (TNT) de dimensões (22 x 15 cm) em 4 plantas de tomate por tratamento/grupo (Figura 10). Permitiu-se a oviposição por 24 horas em duas folhas completas do terço médio superior (sete folíolos) dos tomateiros contendo silício, vide 1ª etapa (Figura 11). As plantas foram arranjadas em delineamento inteiramente casualizado dentro da sala climatizada (Figura 9). Em seguida, os adultos foram removidos com aspirador manual e descartados.

Figura 10 — Detalhe das gaiolas usadas para obtenção de oviposição de *L. sativae* em folhas de tomateiros submetidos a aplicação de silício.



Fonte: O autor (2016).

Figura 11 — Diagrama de obtenção de gerações de *L. sativae* em tomateiros submetidos à aplicação de silício.



3.2.4 Efeito do silício na prole (F1)

Para a obtenção da prole F1, foram confinados para acasalamento durante 24h. adultos da geração P (Figura 11) que se desenvolveram no 1º lote de tomateiros com silício. Os sobreviventes foram confinados em microtubos de polipropileno (1,5 ml) em proporção 4 casais/ planta, e 4 plantas por tratamento/grupo. Os microtubos foram mantidos em câmara climática na tempera de $25,0 \pm 1,0$ °C, umidade relativa de UR 60 ± 10 % e fotofase 12 horas. Após esse período os casais P foram agrupados e transferidos para a sala climatizada onde ocorreu a infestação e oviposição do 2º lote de tomateiros com silício em plantas que foram arranjadas em delineamento inteiramente casualizado dentro da sala climatizada, representando assim a 2ª etapa (Figura 11).

Por conseguinte, após 24 horas da oviposição os casais P foram removidos. Na 3ª etapa, os ovos F1 depositados no 2º lote de tomateiros foram contabilizados, e a partir dos dados dos parâmetros biológicos de *L. sativae*, como duração e viabilidade das fases: ovo, larva, pupa e adultos. Razão sexual ($rs = n.^{\circ}$ de fêmeas/ $n.^{\circ}$ de fêmeas + $n.^{\circ}$ de machos), longevidade dos adultos e a fecundidade das fêmeas, foram confeccionadas Tabelas de Vida de Fertilidade (TVF) dos insetos que se desenvolveram nas plantas contendo silício.

Para obter a fecundidade dos adultos, foram realizadas observações a cada 24 horas, contabilizando o número de ovos depositados no mesófilo foliar através de estereoscópio. Durante esse ensaio, foi fornecido gotículas de mel para alimentação dos adultos (Figura 12).

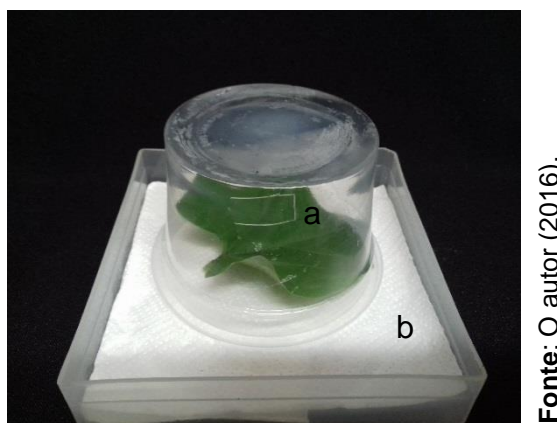
3.2.5 Análises dos dados

Para realizar comparações entre as variáveis fornecidas na tabela de vida, utilizou a estimativa de Jackknife para gerar as médias e o teste de Tukey para determinar diferença entre os grupos ($P \leq 0,05$) (MAIA; LUIZ, 2006; MAIA; LUIZ; CAMPANHOLA, 2000).

As observações de fertilidade foram submetidas à análise de variância One Way (ANOVA) com $P=0,005$, e teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov com $P < 0,050$, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

As curvas de sobrevivência foram calculadas para adultos F1 usando-se o estimador de Kaplan-Meier (KM), o método de Log-Rank para estimar a aproximação das curvas, e o teste de comparações múltiplas de Bonferroni ($P \leq 0,05$) foi usado para agrupar as curvas estimadas que se mostraram diferentes (COLOSIMO; GIOLO, 2006)

Figura 12 — Gaiola de confinamento para avaliação da longevidade e a fecundidade dos adultos. a: acesso de entrada dos insetos; b: papel absorvente.



3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve redução na taxa líquida de reprodução (R_0), na taxa intrínseca de aumento em número (r_m), na razão finita de aumento (λ), no intervalo médio entre geração (IMG), e no tempo de duplicação (TD) das fêmeas F1 de *L. sativae* que se desenvolveram em tomateiros com SiO_2/F e $\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{F}$ ($P < 0,05$) (Tabela 3).

Ocorreu redução do número de ovos/fêmea/dia e da postura de ovos acumulada ($P \leq 0,05$) das fêmeas F1 que se desenvolveram em tomateiros tratados com $\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{F}$ (Figura 13).

A sobrevivência das fêmeas F1 desenvolvidas em tomateiros com SiO_2/F e $\text{K}_2\text{SiO}_3/\text{F}$ foi afetada ($P \leq 0,05$), em comparação com a Testemunha. Porém, a sobrevivência dos machos F1 não foi comprometida pelo silício ($P = 0,730$) (Figura 14).

Tabela 3 — Tabela de Vida e Fertilidade de *L. sativae* prole F1 em tomateiros submetidos à aplicação de silício.

Tratamentos	R _o	±	EP	*	r _m	±	EP	*	λ	±	EP	*	IMG	±	EP	*	TD	±	EP	*
SiO ₂ /F	0,54	±	0,03	b	-0,03	±	0,00	c	0,97	±	0,00	b	19,82	±	0,04	b	-21,6	±	2,62	c
SiO ₂ /S	6,95	±	1,51	a	0,08	±	0,01	a	1,08	±	0,01	a	23,60	±	0,74	a	5,56	±	3,32	a
K ₂ SiO ₃ /F	0,04	±	0,01	b	-0,16	±	0,01	b	0,85	±	0,01	bc	21,00	±	0,30	b	-4,37	±	0,41	b
K ₂ SiO ₃ /S	5,17	±	2,18	ab	0,07	±	0,02	a	1,08	±	0,02	a	24,18	±	0,41	a	8,71	±	3,04	a
Testemunha	7,07	±	1,49	a	0,08	±	0,01	a	1,09	±	0,01	a	23,33	±	0,79	a	8,10	±	0,83	a

EP: Erro padrão da média; ** Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). R_o= taxa líquida de reprodução; r_m= taxa intrínseca de aumento em número; λ= razão finita de aumento; IMG= tempo médio entre gerações; TD= tempo de duplicação da população (dias); **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura (25,0 ± 1,0 °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas).

Figura 13 — Oviposição de *L. sativae* geração F1 desenvolvidas em tomateiros submetidos à aplicação de silício. Barras seguidas de mesma letra no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura ($25,0 \pm 1,0$ °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas).

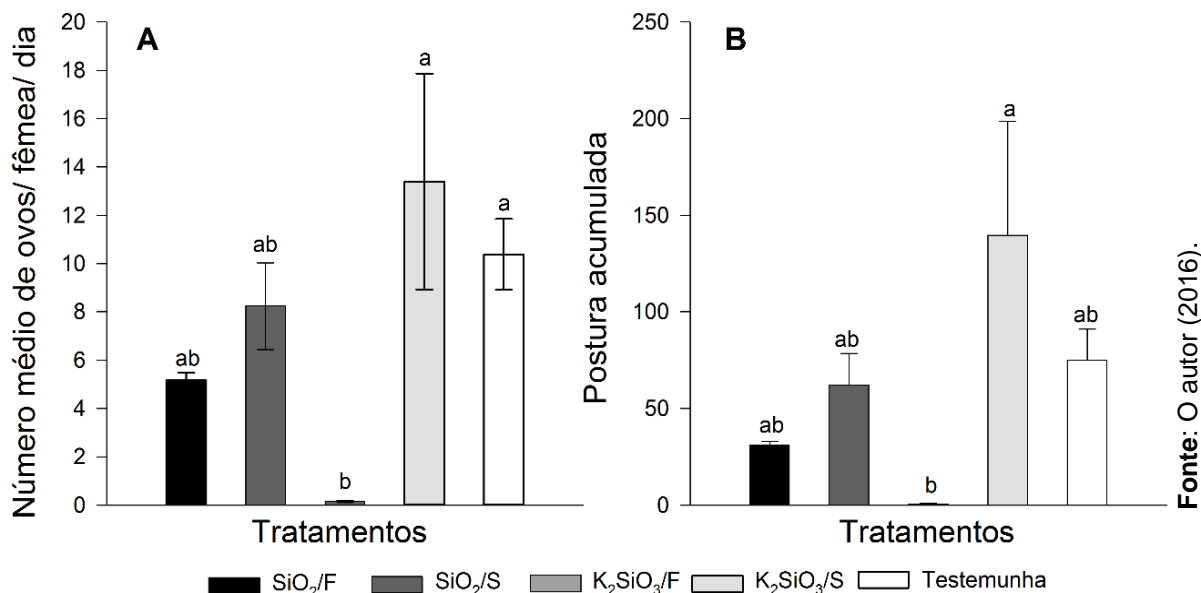
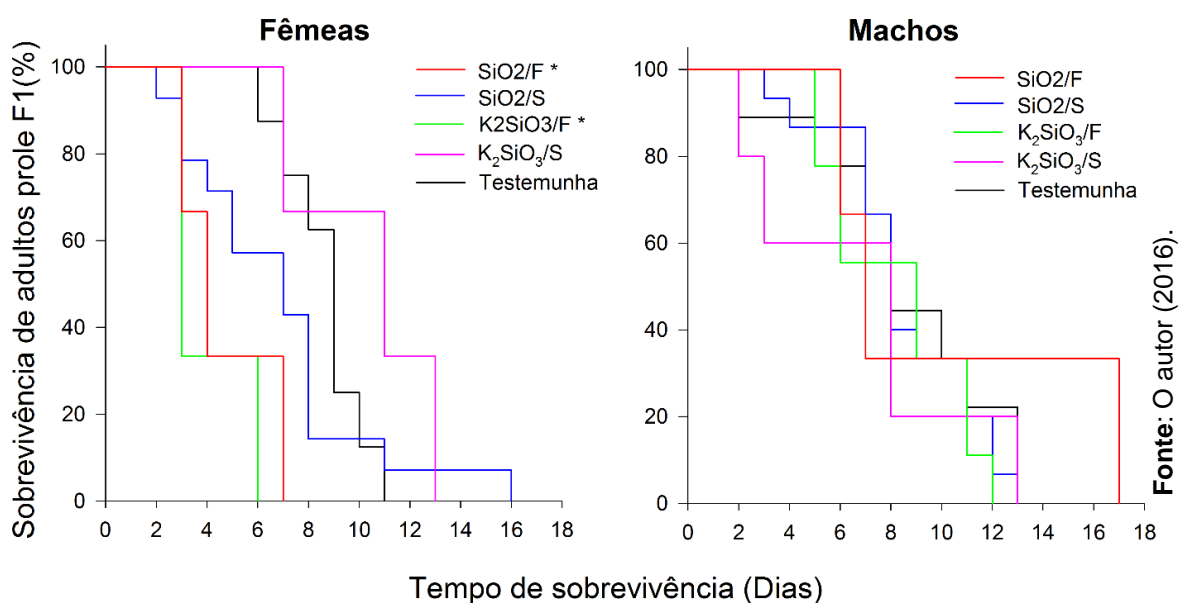


Figura 14 — Probabilidade de sobrevivência de adultos de *L. sativae* prole F1 desenvolvidos em tomateiros submetidos à aplicação de silício; *Curvas significativamente diferentes Log-Rank fêmeas = 21,847 DF = 4 $P = < 0,001$).; **SiO₂/F**: Agrisil® pulverização 1,18g L⁻¹, **SiO₂/S**: Agrisil® Drench 1,18g L⁻¹, **K₂SiO₃/F**: Chelal Si® Pulverização 20 ml L⁻¹, **K₂SiO₃/S**: Chelal Si® Drench 20 ml L⁻¹, **Testemunha**: Água destilada; Temperatura ($25,0 \pm 1,0$ °C), umidade relativa (60 ± 10 %), e fotofase (12 horas).



O silício aplicado no tomateiro afeta a biologia de *L. sativae*. Houve redução em todos os parâmetros de crescimento populacional estimados para a prole F1 pela Tabela de Vida e Fertilidade de *L. sativae* (R_o , r_m , λ , IMG, TD) (Tabela 3), além disso as fêmeas apresentaram baixa fertilidade e sobrevivência nos tratamentos quando o silicato de potássio e o dióxido de silício foram aplicados via foliar.

O parâmetro mais relevante na tabela de vida é a Taxa intrínseca de aumento em número (r_m), esse parâmetro revela o desempenho da população no ambiente que ele está inserido (ANDREWARTHA, 2012). Observando-se os dados referente a esse parâmetro, temos que as populações tratadas com SiO_2/F e K_2SiO_3/F apresentaram valores de r_m negativos (-0.16 e -0.03) respectivamente, se os valores de r_m são menores que zero, isso representa que a população está em declínio (GOTELLI, 2009). Neste caso, a tendência estimada para a geração seguinte das populações SiO_2/F e K_2SiO_3/F é a extinção, logo tomateiros tratados com SiO_2/F e K_2SiO_3/F não são adequados para o desenvolvimento reprodutivo de *Liriomyza sativae*.

Parte do silício aplicado nas folhas do tomateiro é absorvido, e depositado na parede celular na forma de sílica amorfa $Si(O_2)$ (BALASTA et al., 1989). Uma vez que a sílica é depositada na membrana plasmática, essa permanece imóvel, porém passa a desencadear uma cascata de alterações bioquímicas/moleculares, genéticas e estruturais nos tecidos vegetais (GUERRIERO; HAUSMAN; LEGAY, 2016; LIANG et al., 2015).

Seguidamente, ocorre um processo de aumento da resistência vegetal ao ataque de pragas pelo silício, genes de resistência são expressados e codificam proteínas específicas (DETMANN et al., 2013). Em folhas dos tomateiros são produzidos o ácido jasmônico e os jasmonatos, inibidores de protease, e enzimas que são matéria-prima para fabricação de dissuasores alimentares para os insetos herbívoros, como por exemplo as enzimas peroxidase, polifenoloxidase, e fenilalanina amônia-liase (FARMER; RYAN, 1990; GOMES et al., 2005; RAHMAN; WALLIS; UDDIN, 2015; REYNOLDS et al., 2016; VIEIRA et al., 2016).

As alterações que foram expressadas nos parâmetros populacionais da prole F1 de *L. sativae* (Tabela 3), podem provavelmente ser efeitos deletérios ocorridos e

consequentes a partir de compostos tóxicos produzidos pelos tomateiros submetidos à aplicação de silício.

Resultados semelhantes foram obtidos por Ranger et al. (2009), onde também houve redução de parâmetros de crescimento populacional como a taxa líquida de reprodução R_0 , e na Taxa Intrínseca de Aumento (r_m) de pulgão-verde *Myzus persicae* sobre zínia *Zinnia elegans*, com aplicação de silicato de potássio (K_2SiO_3), além disso os resultados obtidos por Dias et al. (2014), apresentam antibiose alimentar em pulgão do trigo *Sitobion avenae* em plantas de trigo com uso de silício.

Massey, Ennos e Hartley (2006), mostraram redução no crescimento, e na sobrevivência de *Schistocerca gregaria* e *Spodoptera exempta* quando alimentadas com gramíneas tratadas com silício foliar. Efeitos similares foram relatados em tomateiros, quando a aplicação de silício foi via foliar, como por exemplo, a redução do período larval, pupal, e da sobrevivência da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (SANTOS et al., 2012). Do mesmo modo, houve mortalidade de 60 a 80% de tripes *Frankliniella schultzei*, quando alimentados com tomateiros com a pulverização foliar de silício (ALMEIDA et al., 2009).

Parrella, Costamagna e Kaspi (2007) mostram elevada mortalidade da mosca-minadora *Liriomyza trifolii* por indução de resistência em plantas de crisântemo com aplicação foliar de silicato de potássio. Correa et al. (2005), demonstram que o silício causou antibiose alimentar em mosca-branca *Bemisia tabaci* sobre plantas de pepino.

Diante do exposto, podemos afirmar que o SiO_2/F e K_2SiO_3/F são capazes de proteger o tomateiro, provavelmente estimulando o metabolismo secundário na produção de compostos tóxicos, que por sua vez interfere na defesa de plantas à insetos, assim justificando as reduções nos parâmetros de crescimento populacional (Tabela de Vida e Fertilidade) e a redução da oviposição e sobrevivência de fêmeas F1 de *L. sativae*.

3.4 CONCLUSÃO

O SiO_2/F e K_2SiO_3/F confere ao tomateiro um efeito protetor contra às injúrias provocadas por *L. sativae*. Tomateiros submetidos a aplicação de SiO_2/F e K_2SiO_3/F causam antibiose, afeta a fertilidade e a sobrevivência de fêmeas F1 de *L. sativae*.

Em síntese, o SiO_2/F e K_2SiO_3/F são eficazes no manejo de *L. sativae* em tomateiros.

3.5 REFERÊNCIAS

- ABE, Y.; KAWAHARA, T. Coexistence of the vegetable leafminer, *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae), with *L. trifolii* and *L. bryoniae* on commercially grown tomato plants. **Applied Entomology and Zoology**, v. 36, n. 3, p. 277-281, 2001.
- ALMEIDA, G. D. et al. Calcium silicate and organic mineral fertilizer increase the resistance of tomato plants to *Frankliniella schultzei*. **Phytoparasitica; Israel journal of plant protection sciences**, v. 37, n. 3, p. 225-230, 2009.
- ANDREWARTHA, H. G. Introduction to the Study of Animal Populations: Reprintedition. Springer Science & Business Media, 2012.
- ARAUJO, E. L. et al. Técnica de criação da mosca minadora *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae). **Campo digital**, v. 2, n. 1, p. 22-26, 2007.
- ARAUJO, E. L. et al. Biological aspects of the leafminer *Liriomyza sativae* (Diptera : Agromyzidae) on melon (*Cucumis melo* L.). **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 579-582, 2013.
- BALASTA, M. L. F. C. et al. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, v. 67, n. 8, p. 2356-2363, 1989.
- COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. Análise de sobrevivência aplicada. In: **ABE-Projeto Fisher**. São Paulo, Edgard Blücher, 2006.
- CORREA, R. S. B. et al. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 05, p. 429-433, 2005.
- DETMANN, K. C. et al. Metabolic alterations triggered by silicon nutrition Is there a signaling role for silicon ? **Plant signaling & behavior**, v. 8, n. 01, p. 71-74, 2013.
- DIAS, P. A S. et al. Induction of resistance by silicon in wheat plants to Alate and Apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental entomology**, v. 43, n. 4, p. 949-56, 2014.
- FARMER, E. E.; RYAN, C. A. Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences** , v. 87 , n. 19 , p. 7713-7716, Oct. 1990.
- FOBA, C. N. et al. *Liriomyza* Leafminer (Diptera: Agromyzidae) Parasitoid Complex in Different Agroecological Zones, Seasons, and Host Plants in Kenya. **Environmental Entomology**, v. 45, n. 2, p. 357-366, Apr. 2015.
- FREIRE, J. C. et al. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, n. 1, p. 5-8, 1980.
- GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. 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**, v. 33, n. 1, p. 18-23, 2009.

GOTELLI, N. J. **Ecologia**. Editora Planta. Londrina, 287pp, 2009.

GOUSSAIN, M. et al. Efeito da Aplicação de Silício em Plantas de Milho no Desenvolvimento Biológico da Lagarta-do-Cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

GUERRIERO, G.; HAUSMAN, J.-F.; LEGAY, S. Silicon and the plant extracellular matrix. **Frontiers in plant science**, v. 7, n. 463, p.1-8, 2016.

JEER, M. et al. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) damage in rice. **Journal of Applied Entomology**, p. 1-13, May. 2016, DOI: 10.1111/jen.12324.

JOHNSON et al. Reduction of tomato leaflet photosynthesis rates by mining activity of *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 76, n. 5, p. 1061-1063, 1983.

KVEDARAS, O. L. et al. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2009.

LEITE, G. L. D. et al. Intensity of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) attacks on *Lycopersicon esculentum* mill. leaves. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 1, p. 42-48, 2004.

LIANG, Y. et al. **Silicon in Agriculture**, Springer, 2015.

MAIA, A. D. H. N.; LUIZ, A. J. B. Programa SAS para análise de tabelas de vida e fertilidade de artrópodes: o método Jackknife. **Comunicado Técnico**, v. 33, n., p. 1-11, 2006.

MAIA, A. DE H. N.; LUIZ, A. J. B.; CAMPANHOLA, C. Statistical Inference on Associated Fertility Life Table Parameters Using Jackknife Technique: Computational Aspects. **Journal of Economic Entomology**, v. 93, n. 2, p. 511-518, Apr. 2000.

MASSEY, F. P.; ENNOS, A. R.; HARTLEY, S. E. Silica in grasses as a defence against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. **Journal of Animal Ecology**, v. 75, n. 2, p. 595-603, 2006.

MUSUNDIRE, R.; CHABI-OLAYE, A.; KRÜGER, K. Host plant effects on morphometric characteristics of *Liriomyza huidobrensis*, *L. sativae* and *L. trifolii* (Diptera: Agromyzidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 136, n. 1-2, p. 97-108, 2012.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Araújo, J.D.; Lourenço, S. (Eds.). **Métodos de**

Pesquisa em Fertilidade do Solo. Brasília: EMBRAPA-SEA, Brasília, DF. p. 189-255. 1991.

PARRELLA, M. P.; COSTAMAGNA, T. P.; KASPI, R. The addition of potassium silicate to the fertilizer mix to suppress *Liriomyza* leafminers attacking chrysanthemums **Acta Hortic.** 747, 365-370, 2007.
DOI:10.17660/ActaHortic.2007.747.45.

POHL, D. et al. Review of *Coenosia attenuata* Stein and its first record as a predator of important greenhouse pests in Turkey. **Phytoparasitica**, v. 40, n. 1, p. 63-68, 2012.

PRATISSOLI, D. et al. Incidence of leaf miner and insect vectors for pest management systems in the tomato. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 607-614, 2015.

RAHMAN, A.; WALLIS, C. M.; UDDIN, W. Silicon-Induced Systemic Defense Responses in Perennial Ryegrass Against Infection by *Magnaporthe oryzae*. **Phytopathology**, v. 105, n. 6, p. 748-757, 2015.

RANGER, C. M. et al. Influence of silicon on resistance of *Zinnia elegans* to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental entomology**, v. 38, n. 1, p. 129-136, Feb. 2009.

REYNOLDS, O. L. et al. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defence against arthropod pests agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 744, 2016.

SANTOS, M. C. et al. Effect of silicon on the morphology of the midgut and mandible of tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) larvae. **Invertebrate Survival Journal**, v. 12, p. 158-165, 2015.

SANTOS, M. C. DOS; et al. Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, 2012.

VIEIRA, D. L. et al. Potassium silicate-induced resistance against blackfly in seedlings of *Citrus reticulata*. **Fruits**, v. 71, n. 1, p. 49-55, 2016.

4 CONCLUSÕES GERAIS

A pulverização de silicato de potássio e dióxido de silício confere proteção em tomateiros contra *L. sativae*, afetando a sobrevivência da fase imatura e adulta, e o comportamento de oviposição.

Os tomateiros submetidos à aplicação de silício via foliar afetam a fertilidade e a sobrevivência de fêmeas F1, comprometendo ao crescimento populacional do inseto por antibiose. Em síntese o silício mostra-se eficaz na redução populacional de *L. sativae*.