



PATRÍCIA PEREIRA

**RESISTÊNCIA DE PLANTA INDUZIDA PELO SILÍCIO À
INSETOS-PRAGA NA CULTURA DO MILHO: ABORDAGEM
MECANÍSTICA E APLICADA**

**LAVRAS-MG
2022**

PATRÍCIA PEREIRA

**RESISTÊNCIA DE PLANTA INDUZIDA PELO SILÍCIO À INSETOS-PRAGA NA
CULTURA DO MILHO: ABORDAGEM MECANÍSTICA E APLICADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia, para a obtenção do título de Doutor.

Prof^a: Dr^a. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor
Orientadora

Prof: Dr. Bruno H. Sardinha de Souza
Coorientador

**LAVRAS-MG
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Pereira, Patrícia.

Resistência de planta induzida pelo Silício à insetos-praga na cultura do milho: abordagem mecanística e aplicada. / Patrícia Pereira. - 2022.

93 p.

Orientador(a): Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor.

Coorientador(a): Bruno Henrique Sardinha de Souza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Ácido silícico. 2. Indutor de resistência. 3. Defesas induzidas de plantas. I. Peñaflor, Maria Fernanda Gomes Villalba. II. Souza, Bruno Henrique Sardinha de. III. Título.

PATRÍCIA PEREIRA

**RESISTÊNCIA DE PLANTA INDUZIDA PELO SILÍCIO À INSETOS-PRAGA NA
CULTURA DO MILHO: ABORDAGEM MECANÍSTICA E APLICADA**

**SILICON-INDUCED PLANT RESISTANCE TO PEST INSECTS IN CORN
CULTURE: MECHANISTIC AND APPLIED APPROACH**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 06 de Abril de 2022.

Dr.^a. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñafior UFLA

Dr.^a. Rosangela Cristina Marucci UFLA

Dr. Marcus Vinicius Sampaio UFU

Dr.^a. Amanda Maria Nascimento Agroteste Pesquisa e Desenvolvimento

Dr.^a. Natalia Naranjo-Guevara Fontys University of Applied Sciences

Prof.^a: Dr.^a. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñafior
Orientadora

Prof: Dr. Bruno H. Sardinha de Souza
Coorientador

**LAVRAS-MG
2022**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir chegar até aqui e me amparar em todos os momentos.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Entomologia, pela realização do doutorado.

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

À Prof^a. Dra. Maria Fernanda G. V. Peñaflores, por guiar meus passos na vida acadêmica, me incentivando e ajudando em todos os momentos dessa jornada.

Ao Prof. Dr. Bruno pela coorientação, por todos os ensinamentos e por me incentivar e auxiliar nos trabalhos de campo e sempre que precisei.

Ao Danilo, pelo fornecimento das sementes de milho.

A empresa SiliFértil Ambiental LTDA pelo fornecimento do Silício utilizado nos ensaios de campo.

Às técnicas laboratoriais, Andréa, Elaine e Ana Paula e aos técnicos Raul, Felipe e Otávio, pela ajuda oferecida nos experimentos de laboratório e/ou campo.

À Arodi pela disponibilidade em contribuir com meu trabalho.

À minha mãe e minha irmã por serem meu porto seguro, por sempre me incentivarem e por todas as orações.

Ao Daniel, por estar sempre ao meu lado e nunca medir esforços para me ajudar.

À Larissa, a Lara e a Lívia por serem a minha família em Lavras.

Ao Marvin, pela paciência em me ajudar nas análises estatísticas.

Aos meus incríveis amigos de Laboratório, por deixar tudo mais leve e por sempre estarem dispostos a ajudar na condução dos experimentos.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, sem vocês não seria possível. Muito Obrigada!

RESUMO

O mecanismo de resistência da planta aos insetos herbívoros conferido pelo acúmulo de Silício (Si) resulta não só da barreira mecânica proporcionada pela deposição do Si na epiderme, mas também da ativação das defesas químicas induzidas. Recentemente, foi demonstrado que o Si também aumenta o recrutamento de inimigos naturais pela mudança na emissão de voláteis de plantas induzidos pela herbivoria, já que ele atua como agente *priming* ou indutor da via do ácido jasmônico, principal modulador da resposta induzida pela herbivoria. Na literatura, há uma carência de estudos que avaliem o papel dos voláteis das plantas na resistência conferida pelo Si contra os insetos herbívoros. Da mesma forma, trabalhos de campo são escassos apesar de serem estritamente importantes. Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi investigar o papel dos voláteis de plantas de milho fertilizadas com Si como mediador na resistência induzida direta e indireta contra as pragas-chave da cultura, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797). Além de avaliar o potencial da fertilização com Si no controle populacional das pragas e doenças em campo. No primeiro artigo, através de ensaios comportamentais e de biologia, verificamos que a fertilização com Si no milho promoveu maior deposição de ovos e um desenvolvimento mais rápido de *D. maidis* na primeira geração. Por outro lado, a fertilização com Si impactou a segunda geração de cigarrinhas, que produziram menos ovos, provavelmente devido ao custo energético do desenvolvimento acelerado da primeira geração. Além disso, a fertilização com Si não afetou a composição de voláteis constitutivos das plantas e, conseqüentemente, não influenciou a preferência olfativa da cigarrinha. No segundo artigo, verificamos que a fertilização com Si alterou a emissão dos voláteis induzidos pela herbivoria de *S. frugiperda*, cuja composição apresentou um composto exclusivo, o terpeno Neril acetato, comparada com a emissão de plantas não fertilizadas e danificadas por *S. frugiperda*. Essa diferença, provavelmente foi responsável pelo maior recrutamento da tesourinha predadora *Doru luteipes* (Scudder, 1876) pela emissão de plantas de milho fertilizadas com Si e induzidas pela herbivoria em relação aos voláteis induzidos pela herbivoria de plantas não fertilizadas. No terceiro artigo, em ensaios de campo, a fertilização com Si demonstrou potencial para controle de infestações iniciais de *S. frugiperda*. A população de *D. maidis* não foi afetada pela fertilização com Si, no entanto, demonstrou interagir positivamente com a aplicação do inseticida químico pertencente ao grupo químico dos neonicotinóides e piretroides, apresentando maiores médias nos tratamentos que receberam a aplicação do inseticida. Da mesma forma, a população da tesourinha *D. luteipes* e a maioria das características fitotécnicas e fisiológicas, assim como os sintomas das doenças avaliados não foram afetadas pela fertilização com Si em campo. Dessa maneira, nós concluímos que a fertilização com Si atua na resistência induzida da planta de milho, afetando diretamente a biologia e o comportamento de *D. maidis* da segunda geração, e indiretamente aumentando a atratividade dos voláteis emitidos por plantas de milho fertilizadas com Si para o predador *D. luteipes*. Em campo a fertilização com Si mostrou controlar infestações iniciais da *S. frugiperda*, entretanto para *D. maidis* e o predador *D. luteipes*, nós não observamos efeitos da fertilização com Si sobre a população desses insetos.

Palavras-chave: Ácido silícico. Indutor de resistência. Defesas induzidas de plantas. Manejo Integrado de Pragas.

ABSTRACT

The plant resistance mechanism to herbivorous insects conferred by the accumulation of Silicon (Si) results not only from the mechanical barrier provided by the deposition of Si in the epidermis, but also from the activation of induced chemical defenses. Recently, it has been shown that Si also increases the recruitment of natural enemies by changing the emission of plant volatiles induced by herbivory, since it acts as a priming agent or inducer of the jasmonic acid pathway, the main modulator of the herbivory-induced response. In the literature, there is a lack of studies that evaluate the role of plant volatiles in the resistance conferred by Si against herbivorous insects. Likewise, fieldwork is scarce despite being strictly important. In this context, the general objective of this work was to investigate the role of volatiles from corn plants fertilized with Si as a mediator in the direct and indirect induced resistance against the key pests of the crop, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) and *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797). In addition to evaluating the potential of Si fertilization in the population control of pests and diseases in the field. In the first article, through behavioral and biological tests, we verified that fertilization with Si in maize promoted greater egg deposition and faster development of *D. maidis* in the first generation. On the other hand, fertilization with Si impacted the second generation of leafhoppers, which produced fewer eggs, probably due to the energy cost of the accelerated development of the first generation. Furthermore, fertilization with Si did not affect the composition of constitutive volatiles of the plants and, consequently, did not influence the olfactory preference of the leafhopper. In the second article, we verified that fertilization with Si altered the emission of volatiles induced by the herbivory of *S. frugiperda*, whose composition presented an exclusive compound, the terpene Neryl acetate, compared with the emission of unfertilized plants and damaged by *S. frugiperda*. This difference was probably responsible for the higher recruitment of the predatory earwig *Doru luteipes* (Scudder, 1876) by the emission of corn plants fertilized with Si and induced by herbivory in relation to volatiles induced by herbivory from unfertilized plants. In the third article, in field trials, fertilization with Si showed potential to control initial infestations of *S. frugiperda*. The population of *D. maidis* was not affected by fertilization with Si, however, it showed to interact positively with the application of the chemical insecticide belonging to the chemical group of neonicotinoids and pyrethroids, presenting higher averages in the treatments that received the application of the insecticide. Likewise, the population of earwig *D. luteipes* and most of the phytotechnical and physiological characteristics, as well as the symptoms of the diseases evaluated were not affected by fertilization with Si in the field. Thus, we conclude that Si fertilization acts on the induced resistance of the corn plant, directly affecting the biology and behavior of second generation *D. maidis*, and indirectly increasing the attractiveness of volatiles emitted by corn plants fertilized with Si for the predator *D. luteipes*. In the field, fertilization with Si showed to control initial infestations of *S. frugiperda*, however for *D. maidis* and the predator *D. luteipes*, we did not observe effects of fertilization with Si on the population of these insects.

Keywords: Silicic acid. Resistance inductor. Plant-induced defenses. Integrated Pest Management.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	9
1- INTRODUÇÃO	9
REFERÊNCIAS	13
SEGUNDA PARTE- ARTIGOS.....	16
ARTIGO 1- A FERTILIZAÇÃO COM SILÍCIO EM PLANTAS DE MILHO BENEFICIA A PRIMEIRA GERAÇÃO DO INSETO SUGADOR <i>DALBULUS MAIDIS</i> (DELONG & WOLCOTT), MAS PREJUDICA A SEGUNDA GERAÇÃO	16
ARTIGO 2- FERTILIZAÇÃO COM SILÍCIO MODIFICA A EMISSÃO DE VOLÁTEIS NOTURNOS INDUZIDOS PELA HERBIVORIA E LEVA AO MAIOR RECRUTAMENTO DA TESOURINHA <i>DORU LUTEIPES</i> (SCUDDER, 1876).....	44
ARTIGO 3- FERTILIZAÇÃO COM SILÍCIO ASSOCIADA OU NÃO COM INSETICIDA SOBRE POPULAÇÕES NATURAIS DE <i>SPODOPTERA FRUGIPERDA</i> (J.E. SMITH) E <i>DALBULUS MAIDIS</i> (DELONG & WOLCOTT) EM CULTIVOS DE MILHO.....	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	92

PRIMEIRA PARTE

1- INTRODUÇÃO

O Silício (Si) é um mineral não essencial para o desenvolvimento das plantas. No entanto, seu uso traz inúmeros benefícios às culturas, como por exemplo, a melhoria de características fitotécnicas das culturas e o aumento da resistência das plantas contra fungos fitopatogênicos e insetos-praga (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995; REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009). Recentemente, o Instituto Internacional de Nutrição de Plantas [IPNI] (2015), Geórgia, EUA, listou-o como uma “substância benéfica”, refletindo o resultado de numerosos estudos.

Contudo, a maioria dos trabalhos abordou somente os efeitos da fertilização com Si sobre o aumento da resistência direta das plantas contra a herbivoria (REYNOLDS, et al., 2016). Essa resistência, denominada resistência mecânica, era proporcionada pela deposição do Si na parede celular do tecido vegetal, denominada “dupla camada silício-cutícula”. Porém, em um estudo pioneiro, Fawer et al. (1998) trouxe evidências de que a fertilização com Si induz uma sequência de reações bioquímicas nas células vegetais. Logo, o Si age também ativando as defesas químicas da planta e atuando como um indutor bioquímico.

Trabalhos posteriores relataram que plantas fertilizadas com Si e induzidas pela herbivoria apresentaram maiores níveis de ácido jasmônico (AJ) ou enzimas relacionadas a esta via em comparação a plantas não fertilizadas, um efeito potencializador do Si sobre esta via de sinalização (GOMES et al., 2005; YE et al., 2013). Isso acontece, pois, a fertilização com Si aumenta a magnitude da indução em resposta à herbivoria de insetos, agindo como um agente *priming* (YE et al., 2013; HAN et al., 2016; LIU et al., 2017; YANG et al., 2017). Este efeito *priming* pode facilitar as respostas de defesa da planta tornando-as mais rápidas e eficazes contra os ataques de herbívoros. Sob este contexto, as plantas estarão fisiologicamente preparadas para responder imediatamente e induzir as respostas de defesa após um estímulo inicial (VAN HULTEN et al., 2006).

A via modulada pelo AJ é importante na síntese de defesas contra a herbivoria que podem atuar na defesa direta, por meio de compostos tóxicos ou deterrentes ao herbívoro, ou na defesa indireta que inclui a liberação de voláteis de plantas induzidos pela herbivoria (VPIH). Os VPIH são compostos químicos liberados pelas plantas quando estão sendo atacadas por herbívoros e constituem sinais importantes para os inimigos naturais

encontrarem sua presa/hospedeiro (TURLINGS et al., 1990; MUMM; DICKE, 2010). Os voláteis constitutivos, ou seja, aqueles emitidos pelas plantas não danificadas tem uma composição distinta àquela dos VPIH, e são pistas químicas importantes para a localização da planta hospedeira pelos herbívoros (JOLIVET, 1998; DICKE; VAN LOON, 2000).

Os primeiros relatos sobre os efeitos da fertilização com Si sobre a atratividade de inimigos naturais surgiram há pouco mais de 10 anos atrás (KVEDARAS et al., 2010; YE et al., 2013; LIU et al., 2017, DE OLIVEIRA et al., 2020; PEREIRA et al., 2021). Estes estudos mostraram que plantas fertilizadas com Si infestadas, ou não, podem ser mais atraentes aos inimigos naturais, mostrando o seu potencial como tática para contribuir com controle biológico dos insetos-praga. Contudo, são necessários mais estudos envolvendo outros sistemas para estabelecer se há um padrão sobre os efeitos da fertilização com Si nos VPIH e com consequências para o recrutamento de inimigos naturais.

Apesar dos inúmeros benefícios proporcionados pela fertilização com Si, nem todas as plantas possuem a capacidade de acumular este mineral. O que se torna um fator limitante ao seu uso. Em geral, plantas da família Poaceae como, por exemplo, o milho (*Zea mays* L.), são espécies acumuladoras de Si. Dessa forma, a fertilização com o Si em plantações de milho é uma estratégia viável e que deve contribuir para um manejo mais sustentável da cultura.

O milho é uma das *commodities* agrícolas mais produzidas no Brasil, sendo responsável por boa parte do faturamento no setor agropecuário do país. Além de abastecer o mercado interno, o Brasil é um dos principais exportadores deste grão (USDA, 2021). A diversificação do uso do milho torna-o indispensável social e economicamente, servindo de alimento básico em muitos países em desenvolvimento e atuando como componente chave na indústria de alta tecnologia (GARCIA et al., 2006).

Diversos fatores afetam a produção de grãos de milho e comprometem a sua produção, como por exemplo, o ataque de insetos herbívoros. Duas importantes pragas desta cultura são as espécies *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), popularmente conhecida como lagarta-do-cartucho e *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae), popularmente conhecida como a cigarrinha-do-milho (CRUZ, 1993; OLIVEIRA et al., 2013; EPPO, 2021). Os danos ocasionados por estes insetos podem ser diretos através do alto índice de desfolha e sucção contínua de seiva, ocasionados pela lagarta-do-cartucho e cigarrinha-do-milho, respectivamente. Ou ainda podem ser indiretos através da transmissão de fitopatógenos pela cigarrinha-do-milho, que atua como inseto-vetor do vírus-da-risca-do-milho (*Maize rayado fino virus*- MRFV) e do enfezamento-pálido (*Spiroplasma kunkelli*) e vermelho (*Maize bushy stunt phytoplasma*- MBSP) (NAULT, 1980; 1990).

A principal forma de controle desses insetos no campo é por meio de aplicações sucessivas de inseticidas químicos. Entretanto, esta prática tende a levar a seleção de populações de insetos resistentes, surtos de populações de insetos não-alvo, contaminação do homem e do ambiente, além de encarecer o custo de produção (YU; NGUYEN; ABO-ELGHAR, 2003). Métodos alternativos para o controle de herbívoros estão sendo cada vez mais estudados, principalmente, a partir da indução e aumento dos níveis de resistência das plantas. Uma estratégia alternativa para o controle desses insetos no campo é através do aumento do recrutamento de inimigos naturais através da aplicação exógena de indutores de resistência nas plantas, prática compatível com estratégias do Manejo Integrado de Pragas (MIP). Um dos inimigos naturais mais conhecidos de ovos e pequenas lagartas de *S. frugiperda* é a tesourinha, *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae). *D. luteipes* é um predador generalista e onívoro de hábito noturno e importante agente de controle biológico no milho devido a sua presença constante nas lavouras (CRUZ; OLIVEIRA, 1997).

A resistência induzida de plantas a insetos herbívoros mastigadores e sugadores é, em geral, modulada por vias hormonais diferentes. A herbivoria por insetos mastigadores induz defesas moduladas pela via do AJ, enquanto a herbivoria de insetos sugadores de floema induz defesas moduladas pela via do ácido salicílico (AS). A ativação de uma dessas duas vias de defesa pode levar à redução da outra via, como em um *cross-talk* negativo entre as duas vias de sinalização (STOUT et al., 1998; THALER, 1999). Dessa forma, a indução de uma via modulada por um fitohormônio pode resultar em defesas contra uma das guildas de herbívoros. O que faz necessário o estudo dos efeitos da fertilização com Si sobre insetos de diferentes guildas alimentares. Em adição, não há publicação de artigo sobre a resistência de milho fertilizado com Si para *D. maidis*, sendo necessários novos estudos que mostrem que a fertilização de Si induz a resistência em milho contra uma ampla gama de herbívoros.

A maioria dos trabalhos publicados avaliando os efeitos da fertilização com Si sobre insetos-pragas e inimigos naturais foram realizados em condições de laboratório ou casa-de-vegetação. Desse modo, na literatura há uma carência de estudos aplicados que avaliem a real potencialidade desta estratégia de controle em plantios de milho no campo e a viabilidade desta estratégia na incorporação no Manejo Integrado de Pragas.

Dentro deste contexto o objetivo geral deste trabalho foi investigar o papel dos voláteis de plantas de milho fertilizadas com Si como mediador na resistência induzida direta contra a praga-chave da cultura, *D. maidis* e na resistência induzida indireta através do recrutamento da tesourinha *D. luteipes*, um predador generalista e onívoro importante na

cultura do milho. Além de avaliar o potencial da fertilização com Si em campo sobre duas pragas-chave da cultura, *D. maidis* e *S. frugiperda* e no recrutamento do *D. luteipes*. De modo geral, as hipóteses testadas foram *i)* a fertilização com Si aumenta a resistência induzida das plantas de milho contra os insetos herbívoros *D. maidis* e *S. frugiperda*; *ii)* a fertilização com Si altera a emissão de voláteis constitutivos que são responsáveis pela preferência hospedeira do herbívoro; *iii)* a fertilização com Si altera a emissão de VPIH, aumentando a atratividade ao inimigo natural. Os resultados encontrados em nosso estudo são apresentados na segunda parte desta tese em forma de artigo.

REFERÊNCIAS

- CRUZ, I.; OLIVEIRA, A. C. Flutuação populacional do predador *Doru luteipes* Scudder em plantas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 363-368, 1997.
- CRUZ, I. Principais pragas e seu controle. **EMBRAPA. Recomendações Técnicas para o cultivo do milho. Brasília, EMBRAPA-SPI**, p. 143-60, 1993.
- DE OLIVEIRA, R. S. et al. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **Plos one**, v. 15, n. 4, p. e0231005, 2020.
- DICKE, M.; VAN LOON, J. J. A. Multitrophic effects of herbivore-induced plant volatiles in an evolutionary context. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 97, p. 237-249, 2000.
- EPPO Global Database. *Spodoptera frugiperda* (LAPHFR). Disponível em: <<https://gd.eppo.int/taxon/LAPHFR/distribution>> Acesso em: 05 Dez. 2021.
- EPSTEIN, E. Anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings National of Academy Science**, v. 91, p. 11-17, 1994.
- FAWER, A. et al. Silicon mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in Cucumber. **Phytopathology**, v. 88, p. 396-401, 1998.
- GARCIA, J. C. et al. Aspectos econômicos da produção e utilização do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006.
- GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 547-551, 2005.
- HAN, Y. et al. Defense responses in rice induced by silicon amendment against infestation by the leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. **PloS ONE**, v. 11, 2016.
- International Plant Nutrition Institute. IPNI (2015). Nutri-facts. Silicon. No. 14.
- JOLIVET, P. **Interrelationship between insects and plants**. CRC press, 1998.
- KVEDARAS, O. L. et al. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of entomological research**, v. 100, p. 367-371, 2010.
- LIU, F. et al. Resistance to small brown planthopper and its mechanism in rice varieties. **Acta Phytopylacica Sinica**, v. 34, p. 449-454, 2007.
- LIU, J. et al. Silicon supplementation alters the composition of herbivore induced plant volatiles and enhances attraction of parasitoids to infested rice plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p.1265, 2017.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2° ed. London: Academic, p. 889, 1995.

- MUMM, R.; DICKE, M. Variation in natural plant products and the attraction of bodyguards involved in indirect plant defense. **Canadian journal of zoology**, v. 88, n. 7, p. 628-667, 2010.
- NAULT, L. R. Evolution of insect pest: maize and leafhopper, a case study. **Maydica**, v. 35, p. 165-175, 1990
- NAULT, L. R. Maize bushy stunt and corn stunt: a comparison of disease symptoms, pathogens host ranges, and vectors. **Phytopathology**, v. 70, p. 659-662, 1980.
- PEREIRA, P. et al. Silicon Supplementation of Maize Impacts Fall Armyworm Colonization and Increases Predator Attraction. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 654-661, 2021.
- OLIVEIRA, C. M.; LOPES, J. R. S.; NAULT, L.R. Survival strategies of *Dalbulus maidis* during maize off-season in Brazil. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.147, n.2, p.141-153, 2013.
- 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, p. 171-186. 2009.
- 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, 2016.
- STOUT, M. J. et al. Stimulation and attenuation of induced resistance by elicitors and inhibitors of chemical induction in tomato (*Lycopersicon esculentum*) foliage. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 86, p. 267-279, 1998.
- THALER, J. S. Jasmonate-inducible plant defenses cause increased parasitism of herbivores. **Nature**, v. 399, p. 686-688, 1999.
- TURLINGS, T. C. J; TUMLINSON, J. H.; LEWIS, W. J. Exploitation of herbivoreinduced plant odors by host-seeking parasitic wasps. **Science**, v. 250, n. 4985, p. 1251-1253, 1990.
- USDA, United States Department of Agriculture- Foreign Agricultural Service. Relatório técnico. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery> Acesso em 14 de dezembro de 2021.
- VAN HULTEN, M. et al. Costs and benefits of priming for defense in Arabidopsis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 14, p. 5602-5607, 2006.
- YANG, L. et al. Silicon amendment to rice plants impairs sucking behaviors and population growth in the phloem feeder *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2017.
- YE, M. et al. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **PNAS**, v. 110, p. 631-639, 2013.

YU, S. J.; NGUYEN, S. N.; ABO-ELGHAR, G. E. Biochemical characterization of insecticide resistance in the fall armyworm. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 77, p. 1-11, 2003.

SEGUNDA PARTE**ARTIGO 1-****A FERTILIZAÇÃO COM SILÍCIO EM PLANTAS DE MILHO BENEFICIA A PRIMEIRA GERAÇÃO DO INSETO SUGADOR *Dalbulus maidis* (DELONG & WOLCOTT), MAS PREJUDICA A SEGUNDA GERAÇÃO**

Patrícia Pereira¹; Marina Chaves de Oliveira¹; Marvin Mateo Pec Hernandez²; Arodí Prado²; Bruno Henrique Sardinha de Souza¹; Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor^{1*}

¹Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000.

²Departamento de Entomologia e Acarologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq-USP), Piracicaba-SP, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 9, CEP 13.418-900.

* *Autora correspondente*: Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Telefone (35) 3829- 5128/ (35) 3829-1287
Email: fernanda.penaflor@den.ufla.br

Resumo

O Silício (Si) é um indutor conhecido por promover o aumento da resistência induzida de diversas plantas contra patógenos e uma ampla gama de insetos herbívoros. No entanto, não há relatos sobre a resistência proporcionada pelo Si contra *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott), importante praga da cultura do milho. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a fertilização com Si em plantas de milho afeta diretamente a cigarrinha-do-milho *D. maidis*, e altera o perfil químico de voláteis das plantas que são pistas importantes para os insetos na seleção hospedeira. A cigarrinha-do-milho se desenvolveu mais rapidamente e as fêmeas preferiram depositar ovos em plantas fertilizadas com Si frente a plantas não fertilizadas. No entanto, em ensaios sem chance de escolha, as fêmeas depositaram número de ovos similares nos dois tratamentos. A segunda geração de cigarrinhas em plantas fertilizadas com Si produziram menos ovos. As cigarrinhas não discriminaram entre voláteis emitidos pelas plantas de milho fertilizadas com Si e não fertilizadas, provavelmente porque o acúmulo de Si não afetou a composição de voláteis constitutivos das plantas. Dessa forma, o presente trabalho mostra que a fertilização com Si em plantas de milho causa inicialmente um efeito positivo sobre a biologia e comportamento de *D. maidis*, mas que incorre em um custo sobre a reprodução da segunda geração da cigarrinha.

Palavra-chave: Indutor de resistência de plantas, ácido silícico, cigarrinha-do-milho, *Zea mays*.

Introdução

Insetos herbívoros e plantas convivem e evoluem de forma associada por mais de 400 milhões de anos. Em busca da sobrevivência, as plantas desenvolveram diversos mecanismos para evitar ou reduzir o ataque dos insetos através, principalmente, do aumento da resistência constitutiva e/ou induzida. A resistência constitutiva e induzida das plantas pode ser manipulada pelo homem a fim de buscar métodos alternativos para o controle dos insetos-pragas. Essa manipulação pode ser feita de diversas formas, como por exemplo, através da convencional engenharia genética (DOWD; JOHNSON, 2009), com a obtenção de plantas transgênicas como os híbridos de milho Bt, e a partir de indutores de resistência como derivados do ácido jasmônico (AJ) e ácido salicílico (AS) e também o Silício (Si). O Si é um indutor de resistência com forte potencial para uso em programas de manejo integrado de pragas (MIP) atuando no aumento da resistência das plantas de forma constitutiva e induzida (REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009).

Embora o Si não seja reconhecido como um nutriente essencial para as culturas foi listado como uma substância benéfica pela International Plant Nutrition Institute (IPNI, 2015), devido aos seus efeitos positivos contra estresses abióticos e bióticos, sendo aplicado em sistemas agrícolas como um meio de proteção as culturas. Diversos trabalhos mostraram que a fertilização das plantas com Si pode conferir proteção contra a herbivoria, uma vez que pode aumentar substancialmente a resistência das plantas (REYNOLDS et al., 2016).

Um dos mecanismos de resistência constitutiva proporcionado pela fertilização com Si ocorre através da deposição do Si entre e dentro das paredes celulares conferindo uma proteção mecânica contra a herbivoria (CLISSOLD, 2008; HUNT et al., 2008), denominada “dupla camada silício-cutícula”. Essa barreira protege fisicamente as plantas contra a penetração de microrganismos patogênicos e o aparelho bucal dos herbívoros (LANNING; LINKO, 1961; COMHAIRE, 1965; CHERIF et al., 1992; SAVANT et al, 1997; KORNDORFER et al., 2004). Em insetos mastigadores, a “dupla camada silício-cutícula” leva ao desgaste acentuado da região incisora da mandíbula comprometendo a habilidade de cortar o tecido vegetal (GOUSSAIN et al., 2002).

Nas últimas décadas, foi demonstrado que o Si interage com a rota do AJ, sendo está a principal rota de defesa induzida ativada contra o ataque de insetos herbívoros (ERB et al., 2012). As defesas induzidas por herbívoros estão associadas à síntese de produtos químicos tóxicos e deterrentes para herbívoros e à síntese e liberação de voláteis de plantas induzidos pela herbivoria (VPIH), os quais estão diretamente envolvidos no recrutamento de inimigos

naturais dos herbívoros (TURLINGS et al., 1990; MUMM; DICKE, 2010). Dessa forma o Si não atua somente nas defesas induzidas diretas contra a herbivoria (BAKHAT et al., 2018), mas também sobre as defesas induzidas indiretas da planta (KVEDARAS et al., 2010; YE et al., 2013; LIU et al., 2017; NIKPAY et al., 2017; PEREIRA et al., 2021).

As defesas das plantas podem operar de forma distinta de acordo com a guilda alimentar do herbívoro (SCHWEIGER et al., 2014). Na maioria dos casos insetos mastigadores induzem as rotas de defesa modulada pelo AJ, enquanto que insetos sugadores de floema induzem rotas de defesa modulada pelo ácido salicílico (AS). Sendo assim, o aumento da resistência proporcionado pela fertilização com Si pode atuar de forma distinta sobre herbívoros sugadores devido ao *crosstalk* negativo entre as duas rotas de defesa (STOUT et al., 1998; THALER, 1999). Além do que a “dupla camada silício-cutícula” pode não oferecer resistência contra a penetração do estilete bucal de alguns insetos sugadores, como observado para o pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) (GOUSSAIN et al., 2005; COSTA et al., 2011).

A cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae), é uma das principais pragas do milho em toda a América Latina (SANTANA et al., 2019). Ocasionalmente causam danos à cultura pela sucção contínua de seiva, mas principalmente por transmitir, de forma persistente e propagativa, o vírus da risca do milho (*Maize rayado fino virus*, MRFV) e os mollicutes associados ao enfezamento-pálido e enfezamento-vermelho do milho, um espiroplasma: *Spiroplasma kunkelli* e um fitoplasma: *Maize bushy stunt phytoplasma*- MBSP (NAULT, 1980; 1990). Nos últimos anos, a ocorrência dessas doenças tem sido considerada um problema fitossanitário preocupante no Brasil (SABATO 2017, 2018), podendo ocasionar perdas na produção de grãos de milho em até 91,3% (TOFFANELLI; BEDENDO, 2002). No campo, a principal forma de controle desses insetos é através do uso de inseticidas químicos sistêmicos na fase inicial da cultura, porém os riscos ambientais e de segurança associados a esta prática tem aumentado a busca por métodos alternativos de controle.

A fertilização com Si é uma estratégia para o controle de diversos insetos-praga na cultura do milho, visto que é uma planta com capacidade para absorver de forma ativa o Si e acumular este mineral na epiderme foliar (KORNDORFER et al., 2004). O aumento da resistência da planta de milho fertilizada com Si já foi relatado para uma gama de insetos herbívoros (GOUSSAIN et al., 2002; BASAGLI et al., 2003; KVEDARAS et al., 2009; KEEPING et al., 2009; HOU; HAN, 2010; SIDHU et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2014; HAN et al., 2015; HAN et al., 2016; REYNOLDS, et al., 2016; ALVARENGA et al., 2017;

JEER et al., 2017; YANG et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2018; DE OLIVEIRA et al., 2020; JOHNSON et al., 2020; PEREIRA et al., 2021). No entanto, os efeitos da fertilização com Si no aumento da resistência das plantas de milho contra a *D. maidis* ainda é desconhecido. Portanto, estudos que avaliem se fertilização com Si induz a resistência em milho contra *D. maidis*, são necessários devido a atual importância desta praga. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a fertilização com Si em plantas de milho afeta a biologia e comportamento da cigarrinha-do-milho *D. maidis*, e altera o perfil químico de voláteis das plantas, as quais são pistas importantes para os insetos na seleção hospedeira. Nós hipotetizamos que a fertilização com Si irá afetar de forma negativa a biologia e o comportamento da primeira e segunda geração de *D. maidis*, além de modificar o perfil de voláteis constitutivos emitidos pelas plantas de milho fertilizadas com Si. Para testar nossas hipóteses foram conduzidos ensaios onde foram avaliados parâmetros biológicos pré-estabelecidos, a preferência e aceitação hospedeira, com e sem chance de escolha. Os efeitos da fertilização com Si sob a segunda geração de *D. maidis* será determinado a partir da análise da fecundidade das fêmeas e viabilidade embrionária. A atratividade da cigarrinha-do-milho pelas plantas fertilizadas com Si será determinado através de ensaios com túnel de vento. Por fim, mudanças no perfil de voláteis constitutivos das plantas de milho serão determinadas através da coleta e análise dos compostos liberados.

Material e métodos

Cultivo das plantas, fertilização com Si e criação de *D. maidis*

Em vasos de polietileno, com 2L de capacidade, foi semeada uma única semente de milho, híbrido convencional 30F53 (Pioneer). O substrato de plantio foi composto pela combinação de solo (latossolo vermelho escuro) e esterco bovino, na proporção de 2:1, respectivamente; fertilizado com 5 gramas do adubo NPK 8-24-12/vaso. O Si foi aplicado ao solo (*drench*) na forma de Ácido Silícico (H_4SiO_2) (Vertec Química Fina, Duque de Caxias, Brasil) a 1%, na dosagem equivalente a $0,93 \text{ ton Si ha}^{-1}$ ($2 \text{ ton SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$) ($1,5 \text{ g de } H_4SiO_2$ dissolvido em 150 mL de água) (ALVARENGA et al., 2017) em plântulas com 5 dias após emergência (estádio fenológico V2). Concomitantemente, as plantas do tratamento que não foram fertilizadas com Si (controle) receberam o mesmo volume de água.

As plantas foram mantidas durante todo o cultivo em casa-de-vegetação, sob iluminação natural e sem controle de temperatura ou umidade, irrigadas em dias intercalados,

conforme a necessidade. Um dia antes do início dos experimentos, as plantas foram transferidas para o laboratório para aclimação. Em todos os bioensaios foram utilizadas plantas no estágio fenológico V4.

A cigarrinha, *D. maidis*, utilizada nos experimentos foram obtidas através de uma criação estabelecida no Laboratório de Ecologia Química das Interações Inseto-Planta (LEQIIP- UFLA, Lavras, MG, Brasil), conforme metodologia descrita por Oliveira e Lopes (2004). Em resumo, as cigarrinhas foram mantidas em gaiolas de acrílico (30 x 30 x 60 cm) fechadas com tecido do tipo *voile* permitindo a ventilação. Em cada gaiola foram colocados quatro vasos pequenos (capacidade de 1L) com três plantas saudáveis por vaso, que serviam de alimento e substrato de oviposição para as cigarrinhas, à medida que as plantas eram consumidas, novas plantas eram colocadas no lugar.

Análise do conteúdo de Si

A parte aérea das plantas de milho com 15 dias após emergência (estádio fenológico V4) foram cortadas na base do caule e armazenadas em sacos de papel (24 x 13 cm). Em seguida, as amostras foram desidratadas por 48h em estufa a 60 °C e trituradas em moinho de facas Tipo Willey (TECNAL, equipamentos para laboratórios, Piracicaba, SP, Brasil), identificadas e acondicionadas em sacos plásticos (5 x 23 cm). Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório de Nutrição de Plantas/ Relação Solo-Planta (UFLA, Lavras, MG, Brasil). A determinação da concentração de silício na parte aérea das plantas fertilizadas com Si e controle (sem fertilização) foi realizada segundo metodologia proposta por Korndorfer et al. (2004). O experimento contou com quatro repetições para cada tratamento.

Aspectos biológicos de *D. maidis*

Plantas de milho fertilizadas ou não com Si, de acordo com o tratamento, foram envolvidas com gaiolas de tecido do tipo *voile* (30 x 30 x 60 cm), e infestadas com cinco ninfas de primeiro instar da cigarrinha *D. maidis*. As ninfas permaneceram nas gaiolas até as primeiras 24h após atingirem a fase adulta. Os parâmetros biológicos analisados foram: número de instares, tempo de desenvolvimento da ninfa de primeiro instar até o instar subsequente, porcentagem de sobrevivência até a fase adulta, peso e comprimento de machos e fêmeas. O número de instares e a duração de desenvolvimento foram obtidos a partir de

observações diárias. A porcentagem de sobrevivência foi calculada através da subtração do número de ninfas de 1º instar com o número total de adultos que emergiram em cada gaiola. Após 24h da emergência dos adultos, os espécimes foram sacrificados através de câmaras mortíferas e encaminhados para o laboratório, onde foram sexados, pesados individualmente com o auxílio de uma balança analítica (Marte AY220) (Marte balanças e aparelhos de precisão Ltda., Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil) e tiveram seu comprimento mensurado com auxílio de um paquímetro. As gaiolas foram dispostas aleatoriamente no interior da casa de vegetação sem controle de temperatura, luz e umidade, totalizando 12 repetições de cada tratamento.

Preferência e aceitação hospedeira de *D. maidis* para oviposição

A preferência e aceitação hospedeira de *D. maidis* para oviposição foi avaliada através de bioensaios com e sem chance de escolha, respectivamente. Em ambos os ensaios foram colocadas dentro de gaiolas de acrílico (30 x 30 x 60 cm) cinco fêmeas acasaladas de *D. maidis* com sete dias após emergência. Em cada ensaio havia duas plantas de milho, uma fertilizada com Si e outra controle (bioensaio com chance de escolha) ou apenas uma planta de milho, fertilizada ou não com Si (bioensaio sem chance de escolha), em sala climatizada (Fitotron) (25 ± 2 °C, UR 60 ± 10 %, e fotofase de 12h). Após 48h da liberação das fêmeas, elas foram retiradas das gaiolas e as plantas transferidas para casa de vegetação. Após cinco dias, o número de ovos nas plantas foi contabilizado. Para contagem dos ovos, as plantas foram transferidas da casa de vegetação para o laboratório e colocadas sob um microscópio estereoscópio para a melhor visualização dos ovos. Foram conduzidas 12 repetições para cada tratamento nos dois bioensaios.

Fecundidade e viabilidade embrionária da segunda geração de *D. maidis*

Quarenta fêmeas acasaladas foram coletadas da criação. Destas, metade foi colocada dentro de uma gaiola de acrílico (30 x 30 x 60 cm) contendo quatro plantas de milho fertilizadas com Si, e a outra metade foi colocada em uma segunda gaiola contendo quatro plantas de milho não fertilizadas com Si. As fêmeas (1º geração) permaneceram nessas gaiolas por 48h para deposição de ovos nessas plantas. Em seguida, as fêmeas foram retiradas das gaiolas e as plantas mantidas até que as ninfas eclodidas (2º geração) atingissem a fase adulta. Centenas de indivíduos foram gerados, dentre machos e fêmeas. Dessa forma, havia

um grupo de cigarrinhas fêmeas e machos que se desenvolveram em plantas fertilizadas com Si e outro grupo que se desenvolveu em plantas não fertilizadas com Si. No sétimo dia após a emergência do adulto, 12 cigarrinhas fêmea foram retiradas de cada uma das gaiolas e colocadas individualmente por 48h dentro de uma gaiola de acrílico havendo apenas uma planta de milho. As gaiolas permaneceram em câmara climatizada (Fitotron) (25 ± 2 °C, UR 60 ± 10 %, e fotofase de 12h). As cigarrinhas que se desenvolveram em plantas fertilizadas com Si foram colocadas em gaiolas contendo uma planta de milho fertilizada com Si. Da mesma forma, as cigarrinhas que se desenvolveram em plantas de milho não fertilizadas com Si foram colocadas em gaiolas contendo uma planta de milho não fertilizada com Si. Após as 48h, as fêmeas foram retiradas das gaiolas e as plantas foram transferidas para a casa de vegetação, onde permaneceram por 15 dias até a eclosão das ninfas. Após 5 dias da oviposição das fêmeas, o número de ovos presente em cada planta foi contabilizado e, após 10 dias, foi determinado a viabilidade embrionária através da contabilização do número de ninfas que eclodiram em relação ao número total de ovos. Foram conduzidas 12 repetições de cada tratamento.

Bioensaio com túnel de vento

Para avaliar a resposta olfativa de *D. maidis* foi utilizado um túnel de vento similar ao sistema de Alquézar et al. (2017). O sistema consistiu em uma câmara retangular de plástico (polietileno) transparente ($57,5 \times 39,5 \times 31,8$ cm), com duas aberturas circulares distais com 8 cm diâmetro, perfuradas a 18,5 cm da base (Figura 1). Uma das aberturas foi coberta com tecido *voile* e encaixado um ventilador ($7,5 \times 7,5 \times 3,0$ cm). Na abertura do lado oposto foi acoplado um copo plástico preto com fundo coberto por tecido *voile*, que permitiu a passagem do fluxo de ar. No fundo da câmara foi perfurado um terceiro orifício, de mesmo diâmetro, para a passagem da parte aérea das plantas de milho. Para vedar o orifício após a introdução das plantas, foi utilizada esponja à qual foi adicionado polietileno e uma placa de madeira de 12×5 cm foi parafusada, na câmara plástica.

Para eliminar o efeito visual, a parte aérea das plantas foram ensacadas com gaiolas confeccionadas com tecido do tipo *voile* na cor preta. O *voile* é um tecido de malha fina que permite a passagem de ar e, por isso, a dispersão dos voláteis das plantas. A velocidade do vento foi ajustada em 0,5 m/s para os ensaios.

Foi testada a resposta olfativa de fêmeas de *D. maidis* acasaladas com 7 a 14 dias de idade e sem alimentação por uma hora antes dos testes. Um total de 20 fêmeas foram

liberadas em cada câmara no período da manhã (geralmente entre 9 e 10h). O número de insetos sobre o saco de *voile* cobrindo a planta foi registrado a cada 30 minutos. A primeira observação foi realizada após uma hora da liberação dos insetos. O experimento foi finalizado após 6 horas da liberação das fêmeas.

A escolha dos insetos foi registrada simultaneamente em uma câmara contendo uma planta de milho fertilizada com Si e outra contendo uma planta controle. A avaliação das duas câmaras simultâneas foi considerada uma repetição e um total de 8 repetições foram conduzidas. O experimento foi realizado em condições controladas de temperatura e umidade (25 ± 2 ° C e UR: $70 \pm 10\%$).

Caracterização química do perfil de voláteis

Para a coleta dos voláteis constitutivos das plantas de milho fertilizadas ou não com Si foi utilizado um sistema do tipo “push-pull”. A parte aérea das plantas foram acondicionadas em sacos de polietileno tereftalato (*PET*) (41 cm x 33 cm) (Wyda, Sorocaba, SP, Brasil) e acopladas ao sistema de aeração, com fluxo de entrada de ar de 1,1 L/min/câmara. O ar foi succionado a 0,8 L/min/saco com uma bomba à vácuo conectada aos filtros de coleta dos voláteis acoplados aos sacos com as plantas. Os filtros são formados por um tubo de vidro fino com 30 mg de polímero adsorvente HayeSep-Q® (Hayes Separation Inc., Bandera, TX, USA) em seu interior. Após a exposição dos filtros de polímeros aos voláteis emitidos pelas plantas, foram lavados com 150 µL de solvente diclorometano e os extratos acondicionados em frascos de vidro vedados mantidos em um freezer a -80°C, até a análise. Para a realização das análises, em cada amostra, foi adicionado 10 µL de uma solução de 200 ng de n-octano e 400 ng de nonil acetato, como padrão interno. As análises foram realizadas em um cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massas (CG-EM), usando Hélio como gás de arraste (24 cm/s). A princípio, foi injetada uma alíquota de 1 µL de cada amostra em uma coluna capilar apolar HP-5 (25 m de comprimento, 0,25mm de diâmetro e 0,1 µm de espessura de parede). Após a injeção, a temperatura da coluna foi mantida a 35°C por 1 min, elevada a uma velocidade de 4°C/min até atingir 140°C e depois reduzida para 20°C/min até 220°C. O sinal do detector foi processado por meio do software do CG-EM. Para a identificação, os espectros de massa dos compostos dados pelo equipamento foram comparados com a biblioteca “NIST08” e padrões sintéticos, quando disponíveis. Foram realizadas, oito repetições de cada tratamento.

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes Shapiro-Wilk e Bartlett para verificação dos pressupostos de normalidade e homocedasticidade, respectivamente. As médias obtidas nos experimentos de análise do conteúdo de Si presente nas folhas de milho, o comprimento dos adultos, os ensaios de preferência de oviposição sem chance de escolha e a oviposição e viabilidade embrionária da segunda geração de *D. maidis* foram analisadas pelo teste *t* de Student. O tempo de desenvolvimento da Ninfá I à mudança de instar subsequente foi analisado através de Modelos Lineares Generalizados (Generalized Linear Models – GLM) com distribuição Gamma. A resposta olfativa das cigarrinhas foi analisada pelo Modelo Linear Generalizado Misto (Generalized Linear Mixed Models - GLMM-) com distribuição Poisson, sendo a variável fixa as combinações e a variável aleatória a repetição temporal. A qualidade do ajuste foi determinada através de um gráfico semi-normal com um envelope de simulação. A composição química dos voláteis das plantas de milho, fertilizadas ou não com Si, foi comparada através do teste não paramétrico de Wilcoxon e análise de componentes principais (PCA). Todas as análises foram feitas utilizando-se o software R 3.6 (R Core Team, 2019) e foram utilizados os seguintes pacotes lme4 (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015), emmeans (Searle, Speed, & Milliken, 1980) e hnp (Moral, Hinde, & Demétrio, 2017).

Resultados

Análise do conteúdo de Si

Plantas de milho fertilizadas com Si (Si+) apresentaram, em média, aproximadamente duas vezes mais Si (média \pm EP: $1,132 \pm 0,080$ g/kg⁻¹ tecido de folha seca) em suas folhas do que plantas não fertilizadas com Si (Si-) (média \pm EP: $0,632 \pm 0,015$ g/kg⁻¹ tecido de folha seca) (teste *t*, $t = -5.506$, $df = 7$, $P = 0,010$).

Aspectos biológicos de *D. maidis*

O estágio ninfal das cigarrinhas, em ambos os tratamentos, consistiu em cinco instares no total (Tabela 1). As cigarrinhas que se desenvolveram em plantas Si+ apresentaram menor tempo de desenvolvimento do primeiro estágio ninfal até a fase adulta em relação às

cigarrinhas que se alimentaram de plantas Si- (Tabela 1). Além disso, cigarrinhas que se desenvolveram em plantas Si+ atingiram o instar subsequente mais rapidamente em relação ao tratamento Si- em todas as fases de desenvolvimento, exceto a fase: ninfa I a ninfa II (Tabela 1). A taxa de sobrevivência de ninfas de primeiro instar até a fase adulta foi similar entre os tratamentos (Tabela 2). Da mesma forma, o comprimento e o peso médio de machos e de fêmeas não diferiram estatisticamente entre os tratamentos (Tabela 2).

Preferência e aceitação hospedeira de *D. maidis* para oviposição

Em testes com chance de escolha, fêmeas de *D. maidis* depositaram um número aproximadamente três vezes maior de ovos em plantas Si+ em relação às plantas Si- (Figura 2A, Glm, Quasipoisson, $F= 8,039$, $df = 1$, $P = 0,009$). No entanto, nos testes sem chance de escolha, fêmeas de *D. maidis* depositaram quantidade similar de ovos nas plantas de ambos os tratamentos (Figura 2B, teste t , $t = -0,264$, $df = 20,605$, $P = 0,794$).

Fecundidade e viabilidade embrionária da segunda geração de *D. maidis*

Fêmeas de *D. maidis*, que se desenvolveram em plantas Si+, depositaram um número aproximadamente 1,5 vezes menor de ovos em relação às cigarrinhas que se desenvolveram em plantas Si- (Figura 3A, teste t , $t = 2,886$, $df = 20,783$, $P= 0,009$). A viabilidade embrionária não diferiu significativamente entre os tratamentos (Figura 3B, teste t , $t = 0,016$, $df = 20,198$, $P = 0,987$).

Bioensaio com túnel de vento

As fêmeas de *D. maidis* não discriminaram entre os voláteis emitidos pelas plantas de milho fertilizadas ou não fertilizadas com Si (Figura 4, Glmm, Poisson, $x^2= 0,069$, $df=1$, $P = 0,079$). A maioria das fêmeas avaliadas não responderam aos voláteis emitidos pelas plantas de milho, onde encontramos aproximadamente 92% de não resposta em ambos os tratamentos.

Caracterização química do perfil de voláteis

Foram identificados três compostos químicos emitidos pelas plantas de milho fertilizadas ou não com Si (Tabela 3), todos pertencentes ao grupo químico dos terpenos. Contudo, não houve diferença significativa entre eles (Tabela 3). A PCA mostrou não haver separação entre os tratamentos ao longo do PC1, que agregou 48% de variância, nem do PC2, que agregou 33% de variância. (Figura 5).

Discussão

Estudos mostram os efeitos da fertilização das plantas com Si sobre herbívoros de diversas guildas alimentares (REYNOLDS et al., 2009). A resistência conferida pela fertilização com Si atua sobre os insetos aumentando o tempo de desenvolvimento (HAN et al., 2015), diminuindo as taxas de sobrevivência e de fecundidade (HAN et al., 2016; ALVARENGA et al., 2017), reduzindo o ganho de massa corporal (KVEDARAS; KEEPING 2007), além de atuar na não-preferência de oviposição (PEREIRA et al., 2021). Entretanto, neste estudo constatamos um efeito neutro ou positivo da fertilização do milho com Si na primeira geração de *D. maidis*. Já na segunda geração de *D. maidis*, na planta fertilizada com Si, detectamos efeito negativo do Si na fecundidade da cigarrinha.

Uma meta-análise realizada por Johnson et al. (2020) evidenciou que insetos que se alimentam de fluídos não são afetados pela defesa induzida pelo Si na mesma extensão que os herbívoros mastigadores. Além disso, estes insetos também não ativaram a absorção de Si e nem a via de defesa modulada pelo AJ, a qual regula as defesas induzidas desencadeadas pelo Si. Isso acontece porque insetos sugadores de floema induzem a rota de defesa modulada pelo AS a qual é supressora da rota de defesa modulada pelo AJ devido ao *crosstalk* negativo entre as duas vias de defesa. É plausível que a fertilização com Si não atue da mesma forma em insetos sugadores de floema, uma vez que não precisam cortar e macerar o alimento. Logo, muitas defesas físicas e químicas conferida pelo Si tem menos impacto sobre insetos sugadores de floema (MASSEY; ENNOS; HARTLEY, 2006), e podem demorar mais tempo para surtirem um efeito negativo sobre sua biologia ou comportamento. Além disso, algumas espécies conseguem inserir os estiletos bucais entre as estruturas físicas como, por exemplo, fitólitos, de forma que a “dupla camada silício-cutícula” tem pouco efeito sobre insetos sugadores (GOUSSAIN; PRADO; MORAES, 2005; COSTA; MORAES; DACOSTA, 2011). Outro ponto importante é que o Si é translocado na planta pelo xilema e insetos sugadores geralmente se alimentam de fluídos translocados pelo floema, o que faz com que não encontrem o Si durante o processo de alimentação (RAVEN, 1983, MA; YAMAJI, 2015).

Todos estes dados condizem com nossos achados quando avaliamos os efeitos somente sob uma geração (como realizado na maioria destes trabalhos), nós vimos que a fertilização com Si não afetou parâmetros biológicos como a sobrevivência, o peso e o comprimento da cigarrinha-do-milho. Já outros parâmetros biológicos e comportamentais, como tempo de desenvolvimento e preferência hospedeira, a fertilização com Si causou um efeito positivo, ou seja, o tempo de desenvolvimento foi mais curto e a planta fertilizada foi preferida pelas fêmeas para oviposição. Esses resultados sugerem que plantas fertilizadas com Si estão mais susceptíveis à colonização pela cigarrinha.

A escolha hospedeira para oviposição é uma etapa crucial na colonização de novas áreas por insetos herbívoros. Os insetos adultos, principalmente as fêmeas, são os responsáveis por desempenhar esse papel importante no estabelecimento da geração seguinte (JANZ, 2002). Sendo assim, a avaliação adequada da qualidade nutricional da planta hospedeira torna-se imprescindível para a sobrevivência da prole, principalmente para os insetos monófagos e oligófagos (BERNAYS; CHAPMAN, 1994; NYLIN; GOTTHARD, 1998), como a cigarrinha-do-milho. Acredita-se que a fêmea faça sua escolha hospedeira de acordo com a expectativa do melhor desempenho da prole (THOMPSON, 1988).

Ao contrário de trabalhos prévios, em que as fêmeas de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) (PEREIRA et al., 2021) e *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) (CORRÊA et al., 2005; ALMEIDA et al., 2008; PEIXOTO et al., 2011) preferiram depositar seus ovos em plantas não fertilizadas com Si, em nosso trabalho, nós observamos que as fêmeas preferem depositar seus ovos em plantas fertilizadas com Si. A princípio, poderíamos concluir que as fêmeas de *D. maidis* estariam fazendo a melhor escolha para a sua progênie, visto que o desenvolvimento das ninfas que se alimentaram de plantas fertilizadas com Si foi mais rápido em relação àquelas que se alimentaram de plantas que não receberam a fertilização com Si, condizendo com a hipótese de preferência da fêmea-desempenho da prole (THOMPSON, 1988). Dessa forma, áreas com plantas fertilizadas com Si teriam maior probabilidade de ocorrência de surtos desses insetos devido à preferência de oviposição das fêmeas por estas plantas, além de redução do período de desenvolvimento fazendo com que haja um maior número de gerações em um determinado período de tempo.

Entretanto, a longo prazo, ou seja cigarrinhas da segunda geração em plantas fertilizadas com Si, nós observamos um efeito negativo sobre a fecundidade. Em um experimento similar, Basagli et al. (2003) observaram que fêmeas do pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) que se desenvolveram em seções foliares

de plantas fertilizadas com Si produziram 80% menos ninfas do que aquelas que se desenvolveram em seções de folhas de plantas de trigo não tratadas com Si, condizendo com nossos resultados.

Insetos sob circunstâncias adversas ou em ambientes com recursos limitados podem aumentar ou reduzir o tempo de desenvolvimento (DANKS, 2006). No entanto, essas mudanças no período de desenvolvimento têm um custo biológico que pode impactar outros processos fisiológicos do inseto, como em um *trade-off*. Por exemplo, insetos podem ter o seu tamanho corporal reduzido devido à redução do tempo de desenvolvimento. Esta plasticidade no desenvolvimento biológico dos insetos acontece, muitas vezes, para garantir a sobrevivência da espécie frente a uma determinada condição limitante (DANKS, 2006). Neste sentido, a diminuição do tempo de desenvolvimento da cigarrinha pode ter garantido sua sobrevivência em plantas fertilizadas com Si, que provavelmente são de baixa qualidade hospedeira. Sabe-se que o Si atua como agente *priming* ou até indutor de defesas contra herbivoria, de modo que as defesas são sintetizadas mais rapidamente após o ataque de insetos-praga e, por isso, plantas fertilizadas com Si são de qualidade hospedeira inferior para os herbívoros (MASSEY; HARTLEY, 2009; YE et al., 2013; REYNOLDS et al., 2016). A diminuição no tempo de desenvolvimento possivelmente acarretou na realocação de um recurso que impactou a reprodução do inseto (em termos de produção de ovos), numa espécie de *trade-off*.

Apesar das cigarrinhas da primeira geração terem discriminado entre as plantas fertilizadas com Si e não fertilizadas, os voláteis constitutivos emitidos pelas plantas de milho fertilizadas com Si não foram mais atraentes para a cigarrinha-do-milho em relação àqueles emitidos pelas plantas não fertilizadas com Si. Ao analisar o perfil químico de voláteis constitutivos emitidos pelas plantas de milho fertilizadas ou não com Si, não observamos diferenças significativas entre eles, o que corrobora com a não discriminação da cigarrinha pelos voláteis emitidos por estas plantas. Esse resultado não era esperado, pois a literatura mostra que a fertilização com Si modifica os voláteis constitutivos das plantas, apesar de existir diferença entre as liberações de variedades diferentes de milho (GOUINGUENÉ et al., 2001). O trabalho publicado por De Oliveira et al. (2020) mostrou que plantas de trigo fertilizadas com Si liberaram maiores quantidades do composto Geranyl acetona em relação as plantas não fertilizadas, tornando estas plantas menos preferíveis para o pulgão do trigo.

Além disso, os resultados do ensaio de túnel de vento sugerem que os voláteis emitidos pelas plantas de milho não são tão importantes na preferência hospedeira para alimentação e/ou oviposição de *D. maidis*. Para *D. maidis*, os outros estímulos na

determinação da escolha hospedeira podem ser mais importantes, como foi observado em nossos resultados, onde apenas um número reduzido de cigarrinhas respondeu ao ensaio de túnel de vento. A escolha hospedeira dos insetos para alimentação e/ou oviposição é determinada através da percepção de múltiplas informações sensoriais que podem ser táteis, visuais, olfativas e gustativas. Dependendo da espécie do inseto, determinados estímulos podem ter maior ou menor força nesta escolha (MÜLLER, 2008, BLEEKER et al., 2009). Todd et al. (1990) revelou que existe uma forte interação entre estímulos visuais e olfativos para *D. maidis*. Os autores concluíram que os voláteis do milho atuaram através de um efeito sinérgico, aumentando o número de contatos que as cigarrinhas fizeram com a luz verde, sugerindo que as pistas olfativas são complementares as visuais. Porém, em oposição aos nossos resultados, um estudo posterior mostrou, em ensaios de olfatometria, que *D. maidis* e *Peregrinus maidis* (Ashmead, 1890) (Hemiptera: Delphacidae) responderam a estímulos olfativos na ausência de estímulos visuais suplementares (ARÁOZ et al., 2019).

Dessa forma, nosso trabalho fornece informações importantes sobre a resistência proporcionada pela fertilização com Si em plantas de milho sobre um inseto sugador, importante praga desta cultura. Embora não tenham sido encontradas diferenças em diversos parâmetros avaliados para *D. maidis*, houve diferença na redução da oviposição na segunda geração. Este parâmetro indica efeito negativo da fertilização com Si sobre estes insetos, afetando diretamente sua reprodução. Logo, podemos concluir que o Si tem potencial para ser usado no controle de *D. maidis*, visando um efeito a longo prazo, através da redução na densidade populacional das gerações subsequentes. A partir dos nossos resultados, destacamos a importância de se realizar trabalhos que avaliem os efeitos da fertilização com Si sob gerações subsequentes de insetos-praga, especialmente no caso de insetos sugadores. Isto porque, diversos trabalhos, incluindo a meta-análise realizada por Johnson et al. (2020), mostram um efeito tênue ou neutro da fertilização com Si sobre esta guilda alimentar se avaliarmos somente uma geração. Neste caso, poderíamos ter uma interpretação errônea em relação a real potencialidade de controle da fertilização com Si sobre insetos sugadores e desvalorizar uma importante estratégia de controle que atua sobre uma ampla guilda de herbívoros.

Referências

- ALQUÉZAR, B. et al. β -caryophyllene emitted from a transgenic *Arabidopsis* or chemical dispenser repels *Diaphorina citri*, vector of Candidatus Liberibacters. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2017.
- ALMEIDA, G. D. et al. Fertilizante organomineral como indutor de resistência contra a colonização da mosca branca no feijoeiro. **Idesia (Arica)**, v. 26, n. 1, p. 29-32, 2008.
- ALVARENGA, R. et al. Induction of resistance of corn plants to *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) by application of silicon and gibberellic acid. **Bulletin of entomological research**, v. 107, n. 4, p. 527-533, 2017.
- ARÁOZ, MV Coll et al. Volatiles mediate host-selection in the corn hoppers *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) and *Peregrinus maidis* (Hemiptera: Delphacidae). **Bulletin of entomological research**, v. 109, n. 5, p. 633-642, 2019.
- SILVA, A. R. **O papel das nanopartículas de silício na mitigação do efeito da salinidade sobre a eletrofisiologia e na atividade fotossintética em plantas glicófitas e não acumuladora de silício**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BASAGLI, M. A. B. et al. Effect of sodium silicate application on the resistance of wheat plants to the green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 4, p. 659-663, 2003.
- BERNAYS, E. A.; CHAPMAN, R. F. **Host-Plant Selection by Phytophagous Insects**. 2.ed. London: Chapman & Hall, p. 312, 1994.
- BLEEKER, P. M. et al. The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. **Plant Physiology**, v. 151, n. 2, p. 925-935, 2009.
- CLISSOLD, F. J. The biomechanics of chewing and plant fracture: mechanisms and implications. **Advances in insect physiology**, v. 34, p. 317-372, 2007.
- CHÉRIF, M. et al. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 41, n. 6, p. 411-425, 1992.
- COMHAIRE, M. El papel de la silica para los vegetales. **Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional del México**, v. 25, p. 35-38, 1965.
- 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, p. 429-433, 2005.
- COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; DACOSTA, R. R. Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. **Journal of applied entomology**, v. 135, n. 1-2, p. 115-120, 2011.

DANKS, H. V. Key themes in the study of seasonal adaptations in insects II. Life-cycle patterns. **Applied entomology and zoology**, v. 41, n. 1, p. 1-13, 2006.

DE OLIVEIRA, R. S. et al. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **Plos one**, v. 15, n. 4, p. e0231005, 2020.

DOWD, P. F.; JOHNSON, E. T. Differential resistance of switchgrass *Panicum virgatum* L. lines to fall armyworms *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 56, n. 8, p. 1077-1089, 2009.

ERB, M.; MELDAU, S.; HOWE, G. A. Role of phytohormones in insect-specific plant reactions. **Trends in plant science**, v. 17, n. 5, p. 250-259, 2012.

GOUINGUENÉ, S.; DEG, T.; TURLINGS, T. C. J. Variability in herbivore-induced odour emissions among maize cultivars and their wild ancestors (teosinte). **Journal of Chemical ecology**, v. 11, n. 1, p. 9-16, 2001.

GOUSSAIN, M. M. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, p. 305-310, 2002.

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

HAN, Y. et al. Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **PLoS ONE**, v. 10, p. 1-13, 2015.

HAN, Y.; LI, P.; GONG, S.; YANG, L.; WEN, L.; HOU, M. Defense responses in rice induced by silicon amendment against infestation by the leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. **PloS ONE**, v. 11, 2016.

HOU, M.; HAN, Y. Silicon-mediated rice plant resistance to the *Asiatic rice borer* (Lepidoptera: Crambidae): effects of silicon amendment and rice varietal resistance. **Journal of Economic Entomology**, v. 103, n. 4, p. 1412-1419, 2010.

HUNT, J. W. et al. A novel mechanism by which silica defends grasses against herbivory. **Annals of botany**, v. 102, n. 4, p. 653-656, 2008.

International Plant Nutrition Institute. IPNI (2015). Nutri-facts. Silicon. No. 14.

JANZ, N. Evolutionary ecology of oviposition strategies. In: HILKER, M.; MEINERS, T. (Org.). Chemoecology of insect eggs and egg deposition. Berlin Vienna: Blackwell Publishing, p. 349-376, 2002.

JEER, M. et al. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) damage in rice. **Journal of Applied Entomology**, v. 141, n. 3, p. 189-201, 2017.

JOHNSON, S. N. et al. Targeted plant defense: silicon conserves hormonal defense signaling impacting chewing but not fluid-feeding herbivores. **Ecology**, v. 102, n. 3, p. e03250, 2021.

KEEPING, M. G.; KVEDARAS, O. L.; BRUTON, A. G. Epidermal silicon in sugarcane: Cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer *Eldana saccharina*. *Environmental and Experimental Botany*, v. 66, p. 54-60, 2009.

KVEDARAS, O. L. et al. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. *Bulletin of entomological research*, v. 100, p. 367-371, 2010.

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.

KVEDARAS, O. L.; KEEPING, Malcolm G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 125, n. 1, p. 103-110, 2007.

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

LANNING, F. C.; LINKO, Y. Absorption and deposition of silica by four varieties of sorghum. **Journal Agricultural Food Chemical**, v. 9, p. 463-465, 1961.

LIU, J. et al. Silicon supplementation alters the composition of herbivore induced plant volatiles and enhances attraction of parasitoids to infested rice plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1265, 2017.

MA, J. F.; YAMAJI, N. A cooperative system of silicon transport in plants. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 7, p. 435-442, 2015.

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.

MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, v. 78, n. 1, p. 281-291, 2009.

MÜLLER, C. 13 Plant–Insect interactions on cuticular surfaces. **Annual Plant Reviews, Biology of the Plant Cuticle**, v.23, p.398, 2008.

MUMM, R.; DICKE, M. Variation in natural plant products and the attraction of bodyguards involved in indirect plant defense. **Canadian journal of zoology**, v. 88, n. 7, p. 628-667, 2010.

NASCIMENTO, A. M. et al. Não preferência a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) induzida em arroz pela aplicação de silício. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 215-218, 2014.

NASCIMENTO, A. M. et al. Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Journal of applied entomology**, v. 142, n. 1-2, p. 241-249, 2018.

NAULT, L. R. Evolution of insect pest: maize and leafhopper, a case study. **Maydica**, v. 35, p. 165-175, 1990

NAULT, L. R. Maize bushy stunt and corn stunt: a comparison of disease symptoms, pathogens host ranges, and vectors. **Phytopathology**, v. 70, p. 659-662, 1980.

NIKPAY, A. et al. Efficacy of silicon formulations on sugarcane stalk borers, quality characteristics and parasitism rate on five commercial varieties. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 87, n. 2, p. 289-297, 2017.

NYLIN, S.; GOTTHARD, K. Plasticity in life history traits. **Annual Review Entomology**, v.43, p.63-83, 1998.

OLIVEIRA, CM de; LOPES, J. R. S. Técnicas para criação da cigarrinha-do-milho e inoculação de mollicutes e vírus em planta. **Doenças em milho: mollicutes, vírus, vetores e mancha por Phaeosphaeria**, p. 89-116, 2004.

PEIXOTO, M. L. et al. Efeito do silício na preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biotipo b (genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 478-481, 2011.

PEREIRA, P. et al. Silicon Supplementation of Maize Impacts Fall Armyworm Colonization and Increases Predator Attraction. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 654-661, 2021.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**, v. 58, p. 179-207, 1983.

SABATO, E. O. Corn stunting diseases. In: Sabato EO, Oliveira CM (eds) Diseases in maize: insect vectors, mollicutes and viruses. Embrapa Informação Tecnológica and Embrapa Milho e Sorgo, Brasília/DF and SeteLagoas/MG, Brazil, p. 11–23, 2017.

SABATO, E. O. Manejo do risco de enfezamentos e da cigarrinha no milho. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, Brazil (Embrapa Milho e Sorgo, Comunicado Técnico, 226), 2018.

SANTANA JR, P. A. et al. Assessing the impact of climate change on the worldwide distribution of *Dalbulus maidis* (DeLong) using MaxEnt. **Pest management science**, v. 75, n. 10, p. 2706-2715, 2019.

SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plant available silicon in soils: A possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, p. 1245-1252, 1997.

SCHWEIGER, R. et al. Interactions between the jasmonic and salicylic acid pathway modulate the plant metabolome and affect herbivores of different feeding types. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 7, p. 1574-1585, 2014.

- 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. 656-664, 2013.
- STOUT, M. J. et al. Stimulation and attenuation of induced resistance by elicitors and inhibitors of chemical induction in tomato (*Lycopersicon esculentum*) foliage. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 86, n. 3, p. 267-279, 1998.
- REYNOLDS, Olivia L.; KEEPING, Malcolm G.; MEYER, Jan H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of applied biology**, v. 155, n. 2, p. 171-186, 2009.
- 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, p. 744, 2016.
- THALER, J. S. Jasmonate-inducible plant defenses cause increased parasitism of herbivores. **Nature**, v. 399, p. 686-688, 1999.
- THOMPSON, J. N. Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of off spring in phytophagous insects. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 47, p. 3-14, 1988.
- TODD, J. L.; PHELAN, P. L.; NAULT, L. R. Interaction between visual and olfactory stimuli during host-finding by leafhopper, *Dalbulus maidis* (Homoptera: Cicadellidae). **Journal of Chemical Ecology**, v. 16, n. 7, p. 2121-2133, 1990.
- TOFFANELLI, C. M.; BEDENDO, I. P. Efeito da população infetiva de *Dalbulus maidis* na produção de grãos e no desenvolvimento de sintomas do enfezamento vermelho do milho. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 082-086, 2002.
- TURLINGS, T. C. J; TUMLINSON, James H.; LEWIS, W. Joe. Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. **Science**, v. 250, n. 4985, p. 1251-1253, 1990.
- YANG, L. et al. Silicon amendment to rice plants impairs sucking behaviors and population growth in the phloem feeder *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2017.
- YE, M. et al. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 38, p. E3631-E3639, 2013.

Figuras

Figura 1- Sistema de avaliação de estímulos olfativos através da adaptação do túnel de vento.



Figura 2- Preferência e aceitação hospedeira de *Dalbulus maidis* para oviposição (média \pm erro padrão) em plantas de milho não fertilizadas (Si-) e fertilizadas com Silício (Si+).

A- Número médio de ovos por tratamento em ensaios com chance de escolha, B- Número médio de ovos por tratamento em ensaios sem chance de escolha.

** diferença significativa em 1% de acordo com o teste de modelos lineares generalizados (Generalized linear models – Glm) com distribuição quasipoisson.

n.s não significativo.

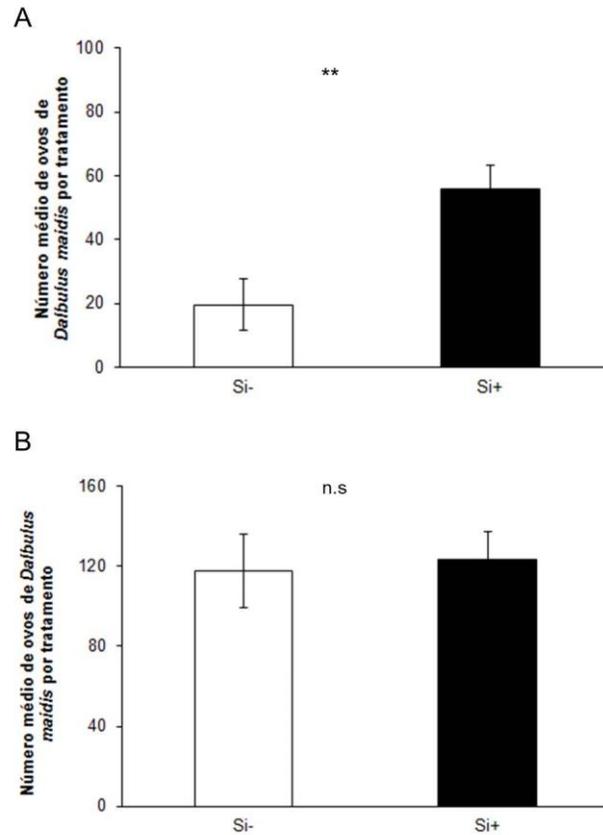


Figura 3- Oviposição e viabilidade embrionária da segunda geração de *Dalbulus maidis* (média \pm erro padrão) em plantas de milho não fertilizadas (Si-) e fertilizadas com Silício (Si+).

A- Número médio de ovos por tratamento, B- Viabilidade embrionária (%).

**diferença significativa em 1% de acordo com o teste t de Student.

n.s não significativo.

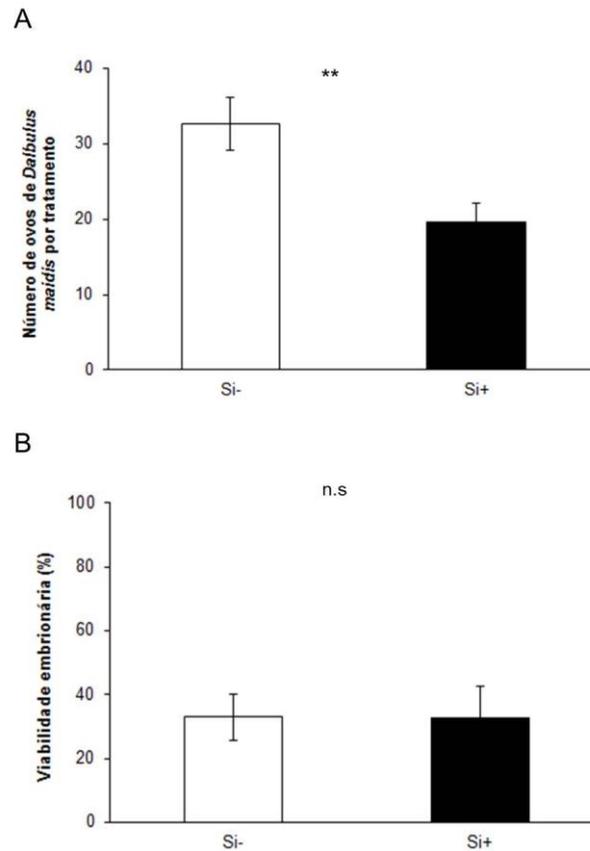


Figura 4- Número médio total de *Dalbulus maidis* (média \pm erro padrão) em plantas de milho não fertilizadas (Si-) e fertilizadas com Silício (Si+) em ensaios com túnel de vento. n.s não significativo (Glm-poisson, testes chi quadrado de Wald).

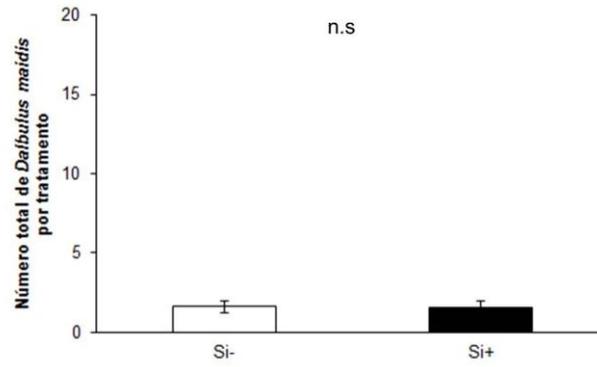
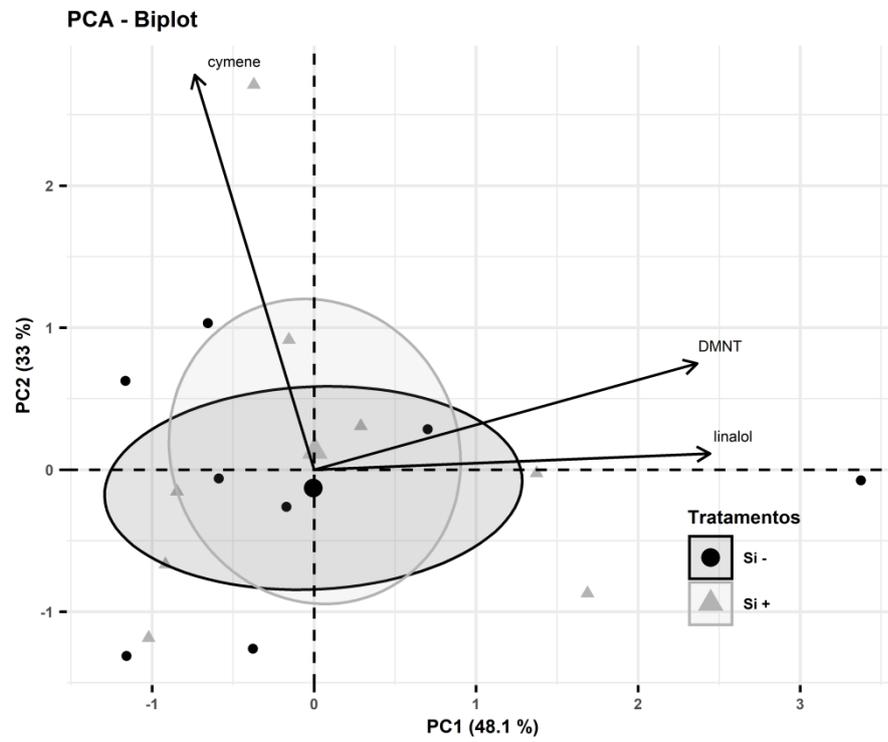


Figura 5- Análise de componentes principais (PCA) da composição de voláteis emitidos por plantas de milho não fertilizadas (Si-) e fertilizadas com Silício (Si+).



Tabelas

Tabela 1- Tempo de desenvolvimento do início do experimento (Ninfa I) à mudança de instar subsequente (média \pm EP dias) de *Dalbulus maidis* em plantas não fertilizadas (Si-) e fertilizadas com Si (Si+).

Fase	Si-	Si+	Análise estatística
Ninfa I a Ninfa II	2,20 \pm 0,0749	2,06 \pm 0,0702	n.s
Ninfa I a Ninfa III	6,24 \pm 0,27	4,84 \pm 0,209	$P < 0,001$
Ninfa I a Ninfa IV	9,44 \pm 0,320	8,14 \pm 0,276	$P < 0,001$
Ninfa I a Ninfa V	13,7 \pm 0,425	12,5 \pm 0,387	$P < 0,05$
Ninfa I ao Adulto	18,5 \pm 0,205	17,00 \pm 0,188	$P < 0,001$

n.s não significativo de acordo com (Glm-Gamma, testes de qui-quadrado da razão de verossimilhança)

Tabela 2- Taxa de sobrevivência, comprimento e peso de machos e fêmeas de *Dalbulus maidis* em plantas não fertilizadas (Si-) e fertilizadas com Si (Si+).

Parâmetro	Si-	Si+	<i>P</i> ¹
Sobrevivência (%)	66,667 ± 0,376	60,000 ± 0,213	0,443
Comprimento (mm)			
Macho	2,383 ± 0,007	2,387 ± 0,007	0,121
Fêmea	3,000 ± 0	2,925 ± 0,844	1,682
Peso (mg)			
Macho	1,192 ± 0,031	1,122 ± 0,036	0,150
Fêmea	1,600 ± 0,096	1,533 ± 0,442	0,588

¹Valor de *P* da análise Gln com distribuição Quasibinomial, teste *t* e GLM com distribuição Gamma, respectivamente.

Tabela 3- Composição de voláteis emitidos pelas plantas de milho. Quantidade relativa dos compostos (média \pm EP ng.g de tecido seco) nas misturas de voláteis liberados por plantas não fertilizadas (Si-) e fertilizadas com Silício (Si+).

Compostos	Si-	Si+	P²
Terpenos			
Linalol	181,86 \pm 59,05	167,03 \pm 20,88	0,505
DMNT ¹	33,40 \pm 14,09	39,86 \pm 4,98	0,278
p-cimeno	9,38 \pm 4,11	11,63 \pm 1,45	0,958
Total	224,64 \pm 52,41	218,51 \pm 58,87	0,798

¹DMNT= (E)-4,8-dimetil-1,3,7-nonatrieno.

²Valor de *P* teste de Wilcoxon.

ARTIGO 2**FERTILIZAÇÃO COM SILÍCIO MODIFICA A EMISSÃO DE VOLÁTEIS
NOTURNOS INDUZIDOS PELA HERBIVORIA E LEVA AO MAIOR
RECRUTAMENTO DA TESOURINHA *Doru luteipes* (SCUDDER, 1876)**

Patrícia Pereira¹; Rosamara Souza Coelho¹; Marvin Mateo Pec Hernandez²; Arodí Prado²; Bruno Henrique Sardinha de Souza¹; Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor^{1*}

¹Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000

²Departamento de Entomologia e Acarologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq-USP), Piracicaba-SP, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 9, CEP 13.418-900.

* *Autora correspondente*: Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Telefone (35) 3829- 5128/ (35) 3829-1287
Email: fernanda.penaflor@den.ufla.br

Resumo

Recentemente, foi demonstrado que a fertilização com Silício (Si) atua sobre as defesas induzidas indiretas, através de um efeito *priming* sobre a rota do ácido jasmônico (AJ), principal responsável pela emissão de voláteis de plantas induzidos pela herbivoria. Logo, é plausível que o Si altere a emissão destes compostos, no entanto pouco se sabe se essas modificações irão alterar interações tritróficas mediadas por estes voláteis, tornando as plantas fertilizadas com Si mais atraentes os inimigos naturais. Dessa forma, o Si tem potencial em ser utilizado como um indutor bioquímico ativando as defesas induzidas das plantas, podendo levar ao aumento do recrutamento de inimigos naturais e conseqüentemente, a redução da população de insetos-praga. Dentro deste contexto, objetivou-se avaliar a influência da fertilização com Si em plantas de milho infestadas ou não com lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) sobre a composição química de voláteis noturnos emitidos por estas plantas e sua relação com a preferência olfativa do predador *Doru luteipes* (Scudder, 1876). Derivados de ácidos graxos e terpenos foram os principais grupos químicos encontrados na mistura volátil de plantas infestadas, fertilizadas ou não com Si. A planta de milho fertilizada com Si e induzida pela herbivoria emitiu o composto Neril acetato, que não foi detectado na emissão da planta não fertilizada. A quantidade dos demais compostos da mistura de voláteis não foi alterada pela fertilização com Si. Os ensaios de olfatométrica mostraram que a fertilização com Si aumenta a atratividade dos voláteis noturnos induzidos pela herbivoria para *D. luteipes* e que possivelmente o aumento do terpeno Neril acetato, induzido pelo acúmulo de Si, tenha papel importante nessa atração.

Palavra-chave: Indutor de resistência, *Spodoptera frugiperda*, ácido silícico, VPIH.

Introdução

O Silício é um indutor de resistência que vem sendo estudado há décadas, no entanto a maioria desses estudos relataram os efeitos da aplicação do Si no aumento da resistência direta das plantas contra insetos herbívoros e fungos fitopatogênicos, ou seja, efeitos no segundo nível trófico (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995; REYNOLDS et al., 2009, GOUSSAIN et al., 2002; GOUSSAIN et al., 2005; KVEDARAS et al., 2009; KEEPING et al., 2009; HOU; HAN, 2010; SIDHU et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2014; VILELA et al., 2014; HAN et al., 2015; HAN et al., 2016; JEER et al., 2016; REYNOLDS, et al., 2016; ALVARENGA et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2018). O primeiro relato sobre o efeito da fertilização com Si no terceiro nível trófico, aumentando a resistência indireta induzida da planta, teve início há pouco mais de 10 anos atrás. Neste trabalho os autores relataram que a aplicação de Si em plantas de pepino induziu a emissão de voláteis atraentes a predadores o que proporcionou maiores taxas de predação da praga em campo (KVEDARAS et al., 2010). Posteriormente, outros trabalhos foram publicadas relatando de forma mais detalhada os mecanismos envolvidos nestas interações (YE et al., 2013; LIU et al., 2017; NIKPAY et al., 2017; PEREIRA et al., 2021), porém ainda há muitas lacunas a serem preenchidas.

Foi demonstrado que a fertilização com Si leva ao aumento dos níveis de ácido jasmônico (AJ) ou enzimas relacionadas a esta via logo após a herbivoria, sugerindo um forte efeito do Si sobre a rota de defesa modulada por este fitohormônio (GOMES et al., 2005; YE et al., 2013). A rota de defesa coordenada pelo AJ, entre outras coisas, está relacionada à ativação de defesas induzidas pela herbivoria, incluindo a liberação de voláteis de plantas induzidos pela herbivoria (VPIH). Dessa forma, o Si altera a resposta induzida da planta por meio de um *priming* sobre a rota do AJ (YE et al., 2013; HAN et al., 2016; LIU et al., 2017; YANG et al., 2017). Logo, plantas fertilizadas com Si tendem a responder de forma mais rápida e aprimorada à pressão herbívora dos insetos (VAN HULTEN et al., 2006). O uso do Si como indutor de resistência é uma ferramenta promissora na agricultura. Seu efeito *priming*, além de aumentar as defesas diretas da planta tem potencial de promover o controle biológico dos herbívoros através do recrutamento de inimigos naturais. Em adição apresenta baixo risco de selecionar populações de insetos-praga resistentes (STOUT et al., 2002; SOBHAY et al., 2014).

Apesar de determinados trabalhos, apontarem o aumento do recrutamento de inimigos naturais para plantas fertilizadas com Si (KVEDARAS et al., 2010; NIKPAY et al., 2017; DE OLIVEIRA et al., 2020; PEREIRA et al., 2021), pouco se sabe se a fertilização com Si afeta a

composição de VPIH de modo que altere a interação tritrófica. Apenas um trabalho, até onde temos conhecimento, evidenciou mudanças no perfil volátil de plantas, desencadeadas pela fertilização com Si, na atratividade do inimigo natural (DE OLIVEIRA et al., 2020). Este estudo revelou que o predador foi atraído pelos voláteis constitutivos do milho, mesmo em contraste com plantas infestadas; a maior atratividade do predador foi associada a um composto, Geranyl acetona, liberado em maior quantidade por plantas fertilizadas com Si. Este resultado difere dos demais estudos, onde os inimigos naturais foram mais atraídos por plantas fertilizadas com Si e induzidas pela herbivoria (KVEDARAS et al., 2010; NIKPAY et al., 2017; PEREIRA et al., 2021). Estes efeitos variáveis sobre os voláteis de plantas e atração de inimigos naturais reforça o quão pouco sabemos e compreendemos sobre a influência do Si nessas relações, ressaltando a importância de estudar seus efeitos sobre interações tritróficas em diversos sistemas agrícolas.

Apesar de todos os benefícios, o uso do Si como indutor de resistência é uma estratégia limitada às plantas que possuem a capacidade de acumular esse mineral como, por exemplo, o milho (*Zea mays* L.) e as demais espécies da família Poaceae. O milho é considerado uma planta acumuladora de Si por apresentar a relação molar Silício: Cálcio nos tecidos acima de 1,0 (MA et al., 2001). Sendo assim, a aplicação do Si nesta cultura se torna uma prática viável para o controle de insetos-praga.

O milho, *Zea mays* L. (Fam. Poaceae), é uma das *commodities* agrícolas mais produzidas no mundo e no Brasil. Sua utilização está difundida dentro da cadeia produtiva da alimentação humana e animal, além de ser um componente importante na indústria de alta tecnologia (GARCIA et al., 2006). A *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), é uma das principais pragas da cultura do milho (CRUZ, 1995). A alta capacidade reprodutiva e de dispersão dos adultos (NAGOSHI et al., 2015), apresentar múltiplas gerações por ano e o sistema de produção agrícola brasileiro onde há o plantio sucessivo de plantas hospedeira como milho, sorgo, arroz, soja e algodão contribuem para a permanência dessa praga no campo ao longo do ano (BARROS et al., 2010).

A principal forma de controle desses insetos no campo é por meio do uso de inseticidas químicos, porém o uso indiscriminado desses produtos levou a seleção de insetos resistentes a diversos princípios ativos, dificultando seu controle (CARVALHO et al., 2013). Uma estratégia para o controle desses insetos no campo é através do aumento da resistência das plantas a partir da fertilização com Si. Em um trabalho anterior, nós constatamos que a fertilização com Si afetou negativamente a biologia e comportamento da *S. frugiperda* e aumentou a atratividade do predador *Orius insidiosus* Say, 1832 (Hemiptera: Anthocoridae),

porém não analisamos as mudanças desencadeadas nos VPIH, não deixando claro o mecanismo responsável pela maior atratividade do predador (PEREIRA et al., 2021).

Dentro deste contexto, a fertilização com Si é uma alternativa promissora no manejo da lagarta-do-cartucho podendo ser incorporada em programas de Manejo Integrado de Pragas. Neste estudo, nós investigamos as mudanças desencadeadas pela fertilização com Si no perfil de voláteis emitidos pelas plantas de milho e sua influência sobre a atratividade do predador *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae), predador generalista de hábito noturno e importante agente de controle biológico no milho devido a sua presença constante nas lavouras (CRUZ; OLIVEIRA, 1997; VARELLA et al., 2015). Nós hipotetizamos que o efeito *priming* promovido pela fertilização com Si irá alterar o perfil de voláteis das plantas de milho induzidas pela herbivoria tornando-as mais atraente para o inseto predador, evidenciando alterações tritróficas moduladas pelo Si.

Material e métodos

Cultivo das plantas, fertilização com Si e criação de *D. luteipes*

Para obtenção das plantas, sementes de milho, híbrido convencional 30F53 (Pioneer) foram semeadas em vasos de polietileno com 2L de capacidade (uma única semente por vaso), contendo como substrato de plantio a combinação de solo (latossolo vermelho escuro) e esterco bovino, na proporção de 2:1, respectivamente; e 5 gramas do adubo NPK 8-24-12/vaso. A aplicação do Si ocorreu via solo (*drench*) na forma de Ácido Silícico (H_4SiO_2) (Vertec Quimica Fina, Duque de Caxias, Brasil) a 1%, na dosagem equivalente a 0,93 ton Si ha^{-1} (2 ton SiO_2 ha^{-1}) (1,5 g de H_4SiO_2 dissolvido em 150 mL de água) (ALVARENGA et al., 2017) em plântulas com 5 dias após emergência (estádio fenológico V2). Para homogeneizar os tratamentos, as plantas controle (Si-) receberam o mesmo volume de água, porém sem adição do Si.

O cultivo das plantas ocorreu em casa-de-vegetação sob iluminação natural e sem controle de temperatura ou umidade, irrigadas em dias intercalados, conforme a necessidade. Um dia antes do início dos experimentos, as plantas foram transferidas para o laboratório para aclimação. Em todos os ensaios foram utilizadas plantas no estágio fenológico V4.

A tesourinha, *D. luteipes*, utilizada nos experimentos foi obtida da criação estabelecida no Laboratório de Controle Biológico de Pragas (LCBIOL- UFLA, Lavras, MG, Brasil). As tesourinhas foram mantidas em gaiolas de acrílico revestidas com papel pardo, mantidas em

sala climatizada (27 ± 2 ° C, $70 \pm 10\%$ de umidade relativa e 14h de fotofase). Dentro das gaiolas, foram colocados copos de polietileno (capacidade para 50 ml) contendo algodão umedecido com água, e canudos de polipropileno semitransparentes (10 cm x 8 mm) selados em uma das extremidades com algodão que serviam como abrigo para oviposição (PASINI et al., 2007; SILVA, 2019). Como fonte de abrigo, foram fornecidos papéis dobrados em leque e, como fonte de alimento, uma dieta composta por 35% ração para gatos, 27% de farelo de trigo, 23% de fermento de cerveja, 14% de leite em pó, 0,5% de nipagina e 0,5% de ácido sórbico (CRUZ, 2009). A manutenção da criação foi realizada duas vezes na semana, onde era trocada a ração e umedecido os algodões. Para a obtenção dos adultos com idade conhecida, os canudos contendo ovos de tesourinha eram transferidos para potes de vidro (15 × 10 cm) contendo dieta, algodão umedecido em água e papel dobrado em leque como fonte de abrigo, até a emergência do adulto e início dos experimentos.

Tratamentos

Os tratamentos utilizados nos experimentos foram os seguintes: (i) planta intacta não fertilizada (Si-), (ii) planta intacta fertilizada (Si+), (iii) planta não fertilizada e infestada por *S. frugiperda* (planta infestada Si-), (iv) planta fertilizada e infestada por *S. frugiperda* (planta infestada Si+). A infestação das plantas por *S. frugiperda* foi realizada no laboratório, baseada em testes preliminares. O total de 50 lagartas de 1º instar de *S. frugiperda* foram introduzidas, com o auxílio de um pincel, dentro do cartucho das plantas de milho 24h antes do início dos experimentos. Posteriormente as de plantas de milho foram envolvidas com uma gaiola de tecido “voile” para evitar o escape dos insetos. As plantas intactas permaneceram sob as mesmas condições que as plantas infestadas (engaioladas e nas mesmas condições abióticas), porém sem a adição das lagartas.

Análise do conteúdo de Si

Após 15 dias da emergência das plantas de milho (estádio fenológico V4), a parte aérea das plantas foram cortadas na base do caule e acondicionadas em sacos de papel (24 x 13 cm) para desidratação em estufa a 60 °C por um período de 48 h. Logo em seguida, foram trituradas em moinho de facas Tipo Willey (TECNAL, equipamentos para laboratórios, Piracicaba, SP, Brasil) para a preparação das amostras. Após identificação e acondicionamento em sacos plásticos (5 x 23 cm), foram encaminhadas para análise no

Laboratório de Nutrição de Plantas/ Relação Solo-Planta (UFLA, Lavras, MG, Brasil). A determinação da concentração de Si na parte aérea das plantas Si+ e Si-, foi determinado segundo metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004). Para cada tratamento foram colhidas 4 amostras.

Caracterização química do perfil de voláteis das plantas

Os voláteis noturnos das plantas de milho foram coletados através de um sistema “push-pull”. O horário de coleta compreendeu o intervalo de tempo correspondente das 19 à 21:30 horas. Para iniciar a coleta, as plantas de milho foram acondicionadas em sacos de Polietileno tereftalato (PET) (41 cm x 33 cm) (Wyda, Sorocaba, SP, Brasil) e conectadas ao sistema de aeração, com fluxo de entrada de ar de 1,1 L/min/câmara. A sucção do ar no interior dos sacos com as plantas foi realizada através de uma bomba a vácuo ajustada para 0,8 L/min/saco conectada aos filtros de coleta dos voláteis. Os filtros foram compostos de um tubo de vidro fino com 30 mg de polímero adsorvente HayeSep-Q® (Hayes Separation Inc., Bandera, TX, USA) em seu interior. Após a exposição dos filtros de polímero aos odores das plantas, eles foram lavados com 150 µL de solvente diclorometano e os extratos armazenados em frascos de vidro vedados mantidos em um freezer a -80°C, até a análise do conteúdo. Em cada amostra, adicionou-se 10 µL de uma solução de 200 ng de n-octano e 400 ng de nonil acetato, como padrão interno. A análise dos compostos coletados foi realizada através de um cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massas (CG-EM), usando Hélio como gás de arraste (24 cm/s). Para iniciar a análise, uma alíquota de 1 µl de cada amostra em uma coluna capilar apolar HP-5 (25 m de comprimento, 0,25mm de diâmetro e 0,1 µm de espessura de parede). Em seguida, a temperatura da coluna foi mantida a 35°C por 1 min, elevada a uma velocidade de 4°C/min até atingir 140°C e depois reduzida para 20°C/min até 220°C. O sinal do detector foi processado por meio do software do CG-EM. Os espectros de massa dos compostos obtidos foram comparados com a biblioteca “NIST08” e padrões sintéticos, quando disponíveis para a sua identificação. Foram realizadas, oito repetições de cada tratamento.

Preferência olfativa de *D. luteipes*

A preferência olfativa de fêmeas do inimigo natural, *D. luteipes*, foi avaliada frente aos odores noturnos produzidos pela planta de milho em um sistema de olfatometria em “Y” (18

cm de comprimento, 3 cm Ø interno e um ângulo de 120° entre os braços) empregando uma metodologia adaptada de Naranjo-Guevara et al. (2017). Através de sacos de Polietileno tereftalato (*PET*) (41 cm x 33 cm) (Wyda, Sorocaba, SP, Brasil), cobriu-se a parte aérea das plantas de milho. Duas aberturas foram feitas nos lados distais do saco, para a conexão das mangueiras que permitem com que o ar entre e saia do sistema. O ar do ambiente foi succionado através de uma bomba e injetado no interior do sistema de olfatométrica. Ao entrar no sistema, o ar foi purificado pela passagem por um filtro de carvão ativado, umidificado, e conduzido para os sacos com as plantas e, por último, para os braços distais do olfatômetro. O fluxo de ar no sistema foi calibrado em 0,6 L/min a partir de testes preliminares. Neste ensaio foram utilizadas somente fêmeas com 5 a 15 dias após emergência do adulto, deixadas 48h em jejum antes do início das avaliações. A cada repetição, um inseto foi introduzido no braço central do olfatômetro e a escolha foi avaliada por um período de até 5 min. A escolha do inseto por um dos tratamentos foi registrada, quando este ultrapassou a linha tracejada de um dos braços distais, localizada a 7,5 cm da intersecção. Caso, após os 5 minutos de avaliação o inseto não tenha escolhido por um dos braços do tubo “Y”, ele era descartado e considerado como “não resposta”. Os insetos foram usados nos ensaios apenas uma vez e, a cada repetição o sistema de olfatométrica era trocado e lavado, após a testagem de 8 insetos as plantas também eram substituídas. Os ensaios foram conduzidos em laboratório (25 ±2 °C, UR 60 ± 10 %) entre 19:00 e 21:30h, período o qual *D. luteipes* está ativa para o forrageamento (NARANJO-GUEVARA et al. 2017). As luzes do laboratório permaneceram apagadas durante todo o experimento, para a visualização dos insetos foi utilizada uma lanterna com luz vermelha. Cada ensaio de olfatométrica consistiu em, pelo menos, 48 respostas utilizando 6 plantas de cada tratamento.

Foi avaliada a resposta olfativa de fêmeas de *D. luteipes* frente às seguintes combinações de tratamentos: (i) planta Si+ versus planta Si- e (ii) planta infestada Si+ versus planta infestada Si-.

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes Shapiro-Wilk e Bartlett para verificação dos pressupostos de normalidade e homocedasticidade, respectivamente. As médias obtidas na análise do conteúdo de Si presentes nas folhas de milho foram analisadas pelo teste *t* de Student. A resposta olfativa de *D. luteipes* foi analisada com modelos lineares generalizados mistos (Glm) com distribuição binomial, sendo a variável fixa as fontes de odor e a variável

aleatória os pares de plantas utilizados, o teste de qui-quadrado de Wald foi utilizado para comparar as combinações. A qualidade do ajuste foi determinada através de um gráfico semi-normal com um envelope de simulação.

Os compostos químicos individuais ou o total de cada grupo químico identificados na mistura volátil emitida pelas plantas de milho foram comparados através do teste não paramétrico de Wilcoxon e análise de componentes principais (PCA). As médias obtidas nos experimentos de olfatométrica foram analisadas através do teste Qui-quadrado. As análises foram feitas utilizando-se o software R 3.6 (R Core Team, 2019) e foram utilizados os seguintes pacotes lme4 (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015), emmeans (Searle, Speed, & Milliken, 1980) e hnp (Moral, Hinde, & Demétrio, 2017).

Resultados

Análise do conteúdo de Si

Plantas de milho Si⁺ apresentaram, em média, aproximadamente duas vezes mais Si (média ± EP: 1,132 ± 0,080 g/kg⁻¹ tecido de folha seca) em suas folhas do que plantas Si⁻ (média ± EP: 0,632 ± 0,015 g/kg⁻¹ tecido de folha seca) (teste *t*, *t* = -5.506, *df* = 7, *P* = 0.010).

Caracterização química do perfil de voláteis das plantas

Ao todo 21 compostos foram identificados nas plantas de milho fertilizadas ou não com Si infestadas pela *S. frugiperda* (Tabela 1). Não foi detectado nenhum composto volátil emitido pelos tratamentos não infestados, independente da fertilização com Si. A análise individual dos compostos mostrou diferença significativa em apenas um composto, o terpeno Neril acetato. Sua presença foi detectada exclusivamente na mistura liberada pelas plantas infestadas Si⁺. No entanto, não observamos diferenças significativas em relação ao total de cada grupo químico entre os tratamentos. O grupo químico dos ácidos graxos foi o mais predominante na mistura emitida pelos tratamentos das plantas infestadas, independente da fertilização do Si. A análise multivariada da composição de voláteis, tanto para os grupos químicos quanto para os compostos individuais, revelou não haver separação entre os tratamentos ao longo dos dois primeiros componentes principais (Figura 1).

Resposta olfativa de *D. luteipes*

A confiabilidade dos resultados encontrados nos ensaios de olfatométria foi obtida a partir de ensaios com plantas de milho não fertilizadas que confirmaram a funcionalidade do sistema utilizado (Figura S1). Nestes ensaios, nós observamos que as tesourinhas não foram atraídas pelos voláteis constitutivos das plantas de milho, no entanto, quando foram expostas aos voláteis de plantas induzidas pela herbivoria foram significativamente mais atraídas por eles (Figura S1). O inimigo natural *D. luteipes* não foi atraído pelos voláteis constitutivos liberados pelas plantas de milho fertilizadas ou não com Si (Figura 2, Si- vs. Si+; Glmm-Binomial; $X^2= 0,166$, $df= 1$, $P= 0,683$). No entanto, quando o inimigo natural teve a oportunidade de escolher entre os voláteis liberados pelas plantas Si+ e Si-, ambas infestadas pela sua presa, a tesourinha se orientou preferencialmente pelos voláteis induzidos pela herbivoria das plantas Si+ (Figura 2, Si+ infestada vs Si- infestada Glmm-Binomial: $X^2= 10,25$, $df= 1$, $P= 0,002$).

Discussão

Pouco se conhece sobre o efeito do Si no recrutamento de inimigos naturais por meio dos voláteis de plantas induzidos pela herbivoria. Até o momento, os estudos mostram efeitos variáveis, nos quais o acúmulo de Si nas plantas causa o aumento da atratividade dos voláteis induzidos ou induz a emissão de voláteis constitutivos que atraem inimigos naturais na ausência de hospedeiro/presa (LIU et al., 2017; DE OLIVEIRA et al., 2020; PEREIRA et al., 2021). No nosso trabalho, encontramos que o acúmulo de Si na planta acentua a resposta induzida da planta à herbivoria, de modo que aumenta a atratividade dos voláteis induzidos pela herbivoria, mas não dos constitutivos. Além disso, diferentemente dos estudos publicados até o momento, o nosso trabalho teve como foco os voláteis noturnos induzidos pela herbivoria, cuja composição é diferente daquela emitida durante o dia, principalmente com relação aos compostos terpenos que são dependentes da fotossíntese (SIGNORETTI et al., 2012).

Analisando os perfis de voláteis, notamos uma drástica diferença entre as emissões noturnas das plantas infestadas e plantas não infestadas, fertilizadas ou não com Si. Este resultado já era esperado, conforme demonstrado por Naranjo-Guevara et al. (2017) para as emissões noturnas de outro híbrido de *Z. mays* infestado por lagartas de *S. frugiperda*. Em contraste com este mesmo estudo, nós não detectamos nenhum volátil constitutivo emitido pela planta de milho durante o período noturno, e a fertilização com Si por si só não alterou

este perfil volátil da planta de milho. Esse resultado difere daquele encontrado para a planta de trigo, uma outra gramínea, na qual o acúmulo de Si induziu a emissão constitutiva do composto Geranyl acetona, que atraiu o parasitoide do pulgão-da-aveia, mesmo na ausência do hospedeiro (DE OLIVEIRA et al., 2020). Sob a perspectiva do controle biológico, a atração de inimigos naturais para os voláteis constitutivos não é benéfico, visto que não serão recompensados com o encontro da sua presa/hospedeiro. Dessa forma, eles seriam atraídos para plantas fertilizadas com Si, mas não encontrariam a sua presa/hospedeiro podendo levar a uma associação negativa a esses odores e, conseqüentemente, essas sinais químicos deixariam de ser confiáveis no processo de forrageamento.

Ao contrário do nosso estudo, onde não foi constatado a liberação de nenhum composto constitutivo, Naranjo-Guevara et al. (2021) identificaram a emissão noturna de apenas dois compostos em plantas de milho não infestadas. Os compostos encontrados por eles foram: o derivado de ácido graxo Decanal, e o terpeno Linalool. Entretanto, os autores também relataram diferenças drásticas no perfil de voláteis noturnos emitidos por plantas infestadas e não infestadas, como em nosso estudo.

Terpenos e derivados de ácidos graxos foram os grupos químicos liberados em maior quantidade em plantas sobre infestação da *S. frugiperda*, independente do regime de Si. Ao contrário do que é descrito na literatura, onde os terpenos dominam a composição da mistura volátil de plantas de milho (TURLINGS et al., 1991), apesar de existir variação entre as cultivares (GOUNGUENÉ et al., 2001), os derivados de ácidos graxos foi o grupo químico mais abundante, tanto qualitativamente quanto quantitativamente. Estes dois grupos químicos englobam compostos chave na atração de inimigos naturais em plantas atacadas por herbívoros (WEISSBECKER et al., 1999; HOBALLAH; TURLINGS, 2005; MAEDA et al., 2015). A liberação desses compostos pela planta apresenta uma dinâmica temporal distinta devido a características estruturais e propriedades químicas de cada grupo (TURLINGS et al., 1998). Os derivados de ácidos graxos são os primeiros compostos a serem liberados e podem constituir mais de 50% da emissão de plantas danificadas mecanicamente ou pela herbivoria e são compartilhados por uma ampla gama de plantas (HOLOPAINEN, 2004). A sua liberação acontece rapidamente, porém não irão fornecer informações específicas sobre a localização e identidade do herbívoro. Estas informações são pistas importantes utilizadas principalmente por inimigos naturais generalistas, os quais iram explorar pistas químicas compartilhadas por diversas plantas (HOBALLAH; TURLINGS, 2005; ALLMANN; BALDWIN, 2010). Posteriormente, os terpenos são liberados e mediarão, principalmente, interações com inimigos naturais especialistas, pois apresentam informações confiáveis sobre a identidade e

localização do herbívoro (HOBALLAH; TURLINGS, 2005; ALLMANN; BALDWIN, 2010). Em soma, muitos terpenos são emitidos especificamente em resposta à alimentação de herbívoros e não após danos mecânicos (TURLINGS et al., 1998).

Em ensaios de olfatométrica, confirmamos que o acúmulo de Si aumentou a atratividade da emissão de voláteis induzidos pela herbivoria por *S. frugiperda* para *D. luteipes*. A mortalidade de lagartas neonatas é maior em plantas fertilizadas com Si (PEREIRA et al., 2021), o que pode levar a um menor consumo foliar, apesar deste dado não ter sido avaliado neste estudo. A redução no consumo foliar pode reduzir a magnitude do dano celular, levando a emissões de voláteis reduzidas e, mesmo assim nós observamos que os voláteis liberados por plantas fertilizadas com Si foram mais atraentes ao predador. Em soma ao nosso estudo, Pereira et al. (2021) mostrou que os voláteis induzidos pela herbivoria de plantas fertilizadas com Si também foram mais atraentes para o predador *Orius insidiosus* Say, 1832 (Hemiptera: Anthocoridae). Dessa forma, dois importantes predadores de estágios imaturos de *S. frugiperda* demonstram maior atratividade pelos voláteis das plantas de milho fertilizadas com Si, o que pode contribuir para aumentar o controle biológico da *S. frugiperda* em cultivos de milho. Quando as fontes de odor testadas foram: planta Si- versus planta Si+, ambas não infestadas pelo inseto herbívoro, não notamos diferença significativa entre os tratamentos. Esse resultado é congruente com o perfil de voláteis detectado, já que não houve detecção de nenhum composto na emissão noturna das plantas não infestadas, independente da fertilização do Si.

Há indicativos de que emissões noturnas de derivados de ácidos graxos tem um papel importante na atração da tesourinha *D. luteipes* (NARANJO-GUEVARA et al., 2017; 2021). Porém, em nosso estudo, a emissão desse grupo de voláteis foi similar entre os tratamentos fertilizados ou não com Si sob infestação da *S. frugiperda*, o que nos leva a conclusão que a maior atratividade das plantas fertilizadas com Si possa ser causada pela liberação de outro composto. Quando comparamos os perfis químicos dos tratamentos infestados pelo herbívoro, notamos diferença na emissão de apenas um composto, o terpeno Neril acetato. A emissão deste composto foi detectada somente no tratamento da planta fertilizada com Si e infestada pela *S. frugiperda*, sugerindo que ele possa estar envolvido na maior atratividade dessas plantas para o inseto predador *D. luteipes*.

Como espera-se que consumo de lagartas neonatas de *S. frugiperda* seja menor em plantas fertilizadas com Si (PEREIRA et al., 2021), a detecção do terpeno Neril acetato nas plantas fertilizadas com Si e infestadas sugere que a resposta induzida é intensificada. Um estudo revelou que a fertilização das plantas com Si aumenta os níveis de AJ após a

herbivoria (YE et al., 2013) levando a incrementos na resistência das plantas através da indução das defesas químicas induzidas. A fertilização com Si aumenta a magnitude da indução em resposta à herbivoria de insetos, agindo como um agente *priming* (YE et al., 2013; HAN et al., 2016; LIU et al., 2017; YANG et al., 2017). A rota de defesa modulada pelo AJ é a principal via que coordena a emissão de VPIH. Dessa forma, a maior atratividade dos voláteis emitidos pelas plantas fertilizadas com Si pode ser ocasionada pelo efeito potencializador do Si sobre a rota do AJ, levando a respostas mais rápidas e aprimoradas (YE et al., 2013), como mudanças na composição química dos voláteis os quais se tornam mais atraentes aos inimigos naturais.

Apesar de *D. luteipes* ser considerado um predador generalista e onívoro é um dos principais inimigos naturais de imaturos de *S. frugiperda* em campos de milho (CRUZ; OLIVEIRA, 1997; VARELLA et al., 2015). Nosso estudo mostrou que a fertilização com Si alterou de forma sutil o perfil de voláteis noturnos induzidos pela praga-chave *S. frugiperda*, tornando estas plantas mais atraentes para o predador *D. luteipes*. Estes resultados fornecem dados importantes e inéditos sobre a interação do Si com os voláteis noturnos induzidos pela herbivoria e o recrutamento de um inseto predador ativamente noturno. Essas evidências ressaltam a potencialidade desta estratégia para o controle da *S. frugiperda*, em cultivos de milho, através do aumento do recrutamento do predador *D. luteipes*. Sendo uma estratégia viável para incorporação em programas de MIP. Desta forma, plantas fertilizadas com Si seriam menos atacadas pela *S. frugiperda*. A princípio devido ao aumento das defesas diretas da planta o que irá afetar sua biologia e comportamento e, posteriormente, as lagartas sobreviventes seriam controladas através do controle biológico desempenhado pela maior atração de inimigos naturais presentes na área de cultivo. O papel do terpeno Neril acetato nessa interação deve ser estudado de forma isolada para compreendermos sua função na maior atratividade dos voláteis emitidos pelas plantas de milho fertilizadas com Si para o inimigo natural.

Referências

- ALLMANN, S.; BALDWIN, I. T. Insects betray themselves in nature to predators by rapid isomerization of green leaf volatiles. **Science**, v. 329, n. 5995, p. 1075-1078, 2010.
- ALVARENGA, R. et al. Induction of resistance of corn plants to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) by application of silicon and gibberellic acid. **Bulletin of Entomological Research**, v. 107, p.527-533, 2017.
- BARROS, E. M. et al. Development of *Spodoptera frugiperda* on different hosts and damage to reproductive structures in cotton. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 137, n. 3, p. 237-245, 2010.
- CARVALHO, R. A. et al. Investigating the molecular mechanisms of Organophosphate and Pyrethroid resistance in the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*. **Journal pone**, v. 8, n. 4, p. 1-10, 2013.
- CRUZ, I. Métodos de criação de agentes entomófagos de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade**, 2000.
- CRUZ, I. A lagarta-do-cartucho na cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1995.
- CRUZ, I.; OLIVEIRA, A. C. Flutuação populacional do predador *Doru luteipes* Scudder em plantas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 363-368, 1997.
- DE OLIVEIRA, R. S. et al. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **Plos one**, v. 15, n. 4, p. e0231005, 2020.
- EPSTEIN, E. Anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings National of Academy Science**, v. 91, p. 11-17, 1994.
- GARCIA, J. C. et al. Aspectos econômicos da produção e utilização do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006.
- GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.
- GOINGUENÉ, S.; DEG, T.; TURLINGS, T. C. J. Variability in herbivore-induced odour emissions among maize cultivars and their wild ancestors (teosinte). **Journal of Chemical ecology**, v. 11, n. 1, p. 9-16, 2001.
- GOUSSAIN, M. 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, p. 305-310, 2002.
- GOUSSAIN, M. M.; PRADO, E.; ANDMORAES, J. C. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* (Rond.)(Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 807-813, 2005.

HAN, Y. et al. Defense responses in rice induced by silicon amendment against infestation by the leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. **PLoS one**, v. 11, n. 4, p. e0153918, 2016.

HAN, Y. et al. Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **PLoS ONE**, v. 10, p. 1-13, 2015.

HOBALLAH, M. E.; TURLINGS, T. C. J. The role of fresh versus old leaf damage in the attraction of parasitic wasps to herbivore-induced maize volatiles. **Journal of chemical ecology**, v. 31, n. 9, p. 2003-2018, 2005.

HOLOPAINEN, J. K. Multiple functions of inducible plant volatiles. **Trends in plant science**, v. 9, n. 11, p. 529-533, 2004.

HOU, M.; HAN, Y. Silicon-mediated rice plant resistance to the *Asiatic rice* borer (Lepidoptera: Crambidae): Effects of silicon amendment and rice varietal resistance. **Journal of Economic Entomology**, v. 103, p. 1412-1419, 2010.

JEER, M. et al. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) damage in rice. **Journal of Applied Entomology**, v. 141, n. 3, p. 189-201, 2017.

KEEPING, M. G.; KVEDARAS, O. L.; BRUTON, A. G. Epidermal silicon in sugarcane: Cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer *Eldana saccharina*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, p. 54-60, 2009.

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

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

KVEDARAS, O. L. et al. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of entomological research**, v. 100, p. 367-371, 2010.

LIU, J. et al. Silicon supplementation alters the composition of herbivore induced plant volatiles and enhances attraction of parasitoids to infested rice plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1265, 2017.

MAEDA, T. et al. Mixture of synthetic herbivore-induced plant volatiles attracts more *Stethorus punctum picipes* (Casey)(Coleoptera: Coccinellidae) than a single volatile. **Journal of Insect Behavior**, v. 28, n. 2, p. 126-137, 2015.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2^o ed. London: Academic, p. 889, 1995.

NAGOSHI, R. N. et al. Haplotype profile comparisons between *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations from Mexico with those from Puerto Rico, South America, and the United States and their implications to migratory behavior. **Journal of economic entomology**, v. 108, n. 1, p. 135-144, 2015.

NARANJO-GUEVARA, N. et al. Nocturnal herbivore-induced plant volatiles attract the generalist predatory earwig *Doru luteipes* Scudder. **The Science of Nature**, v. 104, n. 9, p. 1-11, 2017.

NARANJO-GUEVARA, N. et al. A comparison of the direct and indirect defence abilities of cultivated maize versus perennial and annual teosintes. **Chemoecology**, v. 31, n. 1, p. 63-74, 2021.

NASCIMENTO, A. M. et al. Não preferência a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) induzida em arroz pela aplicação de silício. **Brazilian Journal of Agricultural Science**, v. 9, p. 215-218, 2014.

NASCIMENTO, A. M. et al. Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Journal of Applied Entomology**, v. 142, p. 241-249, 2018.

NIKPAY, A. et al. Efficacy of silicon formulations on sugarcane stalk borers, quality characteristics and parasitism rate on five commercial varieties. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 87, n. 2, p. 289-297, 2017.

PASINI, A.; PARRA, J. R. P.; LOPES, J. M. Dieta artificial para criação de *Doru luteipes* (Scudder)(Dermaptera: Forficulidae), predador da lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 36, n. 2, p. 308-311, 2007.

PEREIRA, P. et al. Silicon Supplementation of Maize Impacts Fall Armyworm Colonization and Increases Predator Attraction. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 654-661, 2021.

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, p. 171-186. 2009.

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, 2016.

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, p. 656-664, 2013.

SILVA, L. P. Compatibilidade da combinação de *Doru luteipes* (Dermaptera, Forficulidae) e *Orius insidiosus* (Hemiptera, Anthocoridae) para regulação de tripes-praga (Thysanoptera, Thripidae). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 52 p. Dissertação de Mestrado em Entomologia Agrícola, 2019.

SIGNORETTI, A. G. C.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; BENTO, J. M. S. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae), female moths respond to herbivore-induced corn volatiles. **Neotropical entomology**, v. 41, n. 1, p. 22-26, 2012.

SOBHY, I. S. et al. The prospect of applying chemical elicitors and plant strengtheners to enhance the biological control of crop pests. **Philosophical Transactions of the Royal SocietyB: Biological Sciences**, v. 369, 2014.

STOUT, M. J.; ZEHNDER, G. W.; BAUR, M. E. Potential for the use of elicitors of plant resistance in arthropod management programs. **Arch Insect Biochemistry**, v. 51, p. 222-235, 2002.

TURLINGS, T. C. J. et al. The induction of volatile emissions in maize by three herbivore species with different feeding habits: possible consequences for their natural enemies. **Biological control**, v. 11, n. 2, p. 122-129, 1998.

TURLINGS, T. C. J. et al. Isolation and identification of allelochemicals that attract the larval parasitoid, *Cotesia marginiventris* (Cresson), to the microhabitat of one of its hosts. **Journal of chemical ecology**, v. 17, n. 11, p. 2235-2251, 1991.

VAN HULTEN, M. et al. Costs and benefits of priming for defense in Arabidopsis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 14, p. 5602-5607, 2006.

VARELLA, A. C. et al. Mortality dynamics of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) immatures in maize. **PLoS One**, v. 10, n. 6, p. e0130437, 2015.

VILELA, M. et al. Induced resistance to *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) via silicon application in sugarcane. **Revista Colombiana de Entomología**, v.40, p. 44-48, 2014.

WEISSBECKER, B.; VAN LOON, J. J. A.; DICKE, M. Electroantennogram responses of a predator, *Perillus bioculatus*, and its prey, *Leptinotarsa decemlineata*, to plant volatiles. **Journal of Chemical Ecology**, v. 25, n. 10, p. 2313-2325, 1999.

YANG, L. et al. Silicon amendment to rice plants impairs sucking behaviors and population growth in the phloem feeder *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2017.

YE, M. et al. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **PNAS**, v. 110, p. 631-639, 2013.

Figuras

Figura 1- Análise de componentes principais (PCA) da composição de voláteis emitidos por plantas de milho fertilizada e infestada por *Spodoptera frugiperda* e planta não fertilizada e infestada por *S. frugiperda*. (A) PCA dos principais grupos químicos, (B) PCA dos principais compostos químicos.

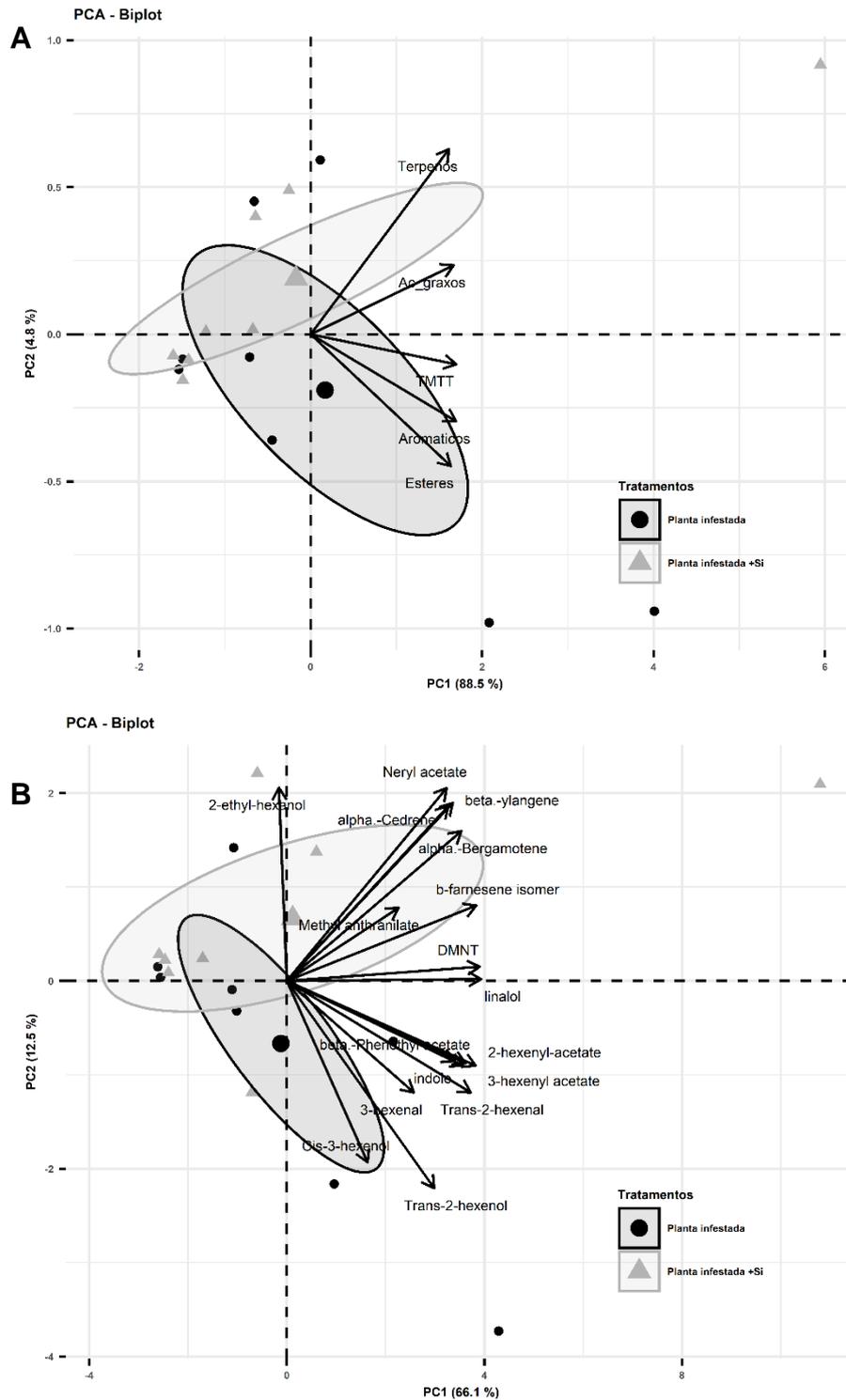
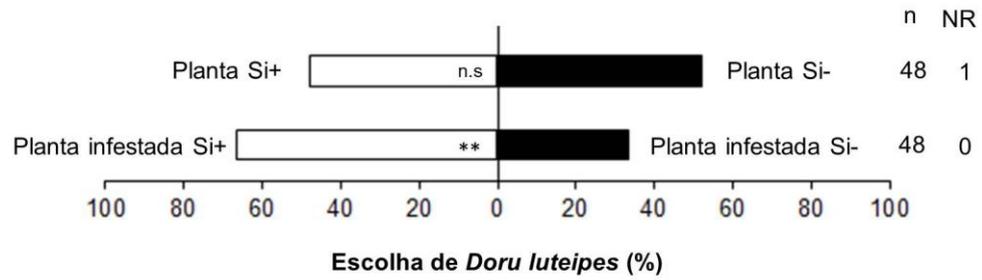


Figura 2- Preferência olfativa de *Doru luteipes* frente aos voláteis da planta de milho. As fontes de odor consistiram em: (i) planta Si- versus planta Si+ e (ii) planta fertilizada e infestada por *Spodoptera frugiperda* versus planta não fertilizada e infestada por *S. frugiperda*. NR representa o número de insetos “não resposta” e n o número de repetições.

** diferença significativa em 1%; n.s não significativo (Glm-binomial, testes chi quadrado de Wald).



Tabelas

Tabela 1- Compostos voláteis emitidos pelas plantas de milho (média \pm erro padrão) em plantas fertilizadas com Silício (Si+), não fertilizadas com Silício (Si-), fertilizadas com Silício e infestadas com *Spodoptera frugiperda* (Si+ infestada) e não fertilizadas com Silício e infestadas com *S. frugiperda* (Si- infestada).

Compostos	Si+	Si-	Si+ infestada	Si- infestada	P ³
Derivados de ácidos graxos					
3-hexenal	-	-	92,21 \pm 34,02	109,42 \pm	0,3282
Trans-2-hexenal	-	-	191,10 \pm 90,22	222,62 \pm 71,12	0,5737
Cis-3-hexenol	-	-	71,06 \pm 26,60	108,04 \pm 52,31	0,5054
Trans-2-hexenol	-	-	16,39 \pm 7,32	27,59 \pm 13,29	0,4295
3-hexenil-acetato	-	-	253,04 \pm 135,82	335,05 \pm 95,59	0,3282
2-hexenil-acetato	-	-	121,15 \pm 79,74	162,60 \pm 77,44	0,6454
2-metil pentanol	-	-	6,40 \pm 5,30	2 \pm 1,05	0,7723
2-metil butanol acetato	-	-	3,4 \pm 2,28	2,43 \pm 1,31	0,9553
2-pentenol acetato	-	-	13,02 \pm 6,7	15,44 \pm 5,13	0,4418
2-etil-hexanol	-	-	7,9 \pm 2,67	8,37 \pm 3,47	0,5737
Total			777,66 \pm 363,53	993,57 \pm 303,52	0,5054
Compostos aromáticos					
Indole	-	-	41,85 \pm 32,31	69,59 \pm 30,87	0,2345
Total			41,85 \pm 32,31	69,59 \pm 30,87	0,2345
Terpenos					
Linalol	-	-	113,35 \pm 68,55	96,91 \pm 39,72	0,7209
Isômero Beta-farneseno	-	-	265,29 \pm 139,64	216,16 \pm 48,68	0,5737
Alpha,-Bergamoteno	-	-	100,14 \pm 61,77	62,90 \pm 15,76	0,7209
DMNT ¹	-	-	45,60 \pm 26,06	39,96 \pm 13,45	0,6454
TMTT ²	-	-	20,36 \pm 11,67	22,42 \pm 12,25	1
Alpha,-Cedrene	-	-	9,03 \pm 4,14	3,13 \pm 1,82	0,1501
Neril acetato	-	-	10,53 \pm 6,78	0	0,0325
Beta,-ylangene	-	-	32,21 \pm 21,89	5,96 \pm 1,95	0,6454
Total			596,51 \pm 339,04	447,43 \pm 114,94	0,7209
Ésteres					
Metil antranilato	-	-	8,52 \pm 2,75	5,96 \pm 1,95	0,4589
Beta,-Fenetil acetato	-	-	18,28 \pm 16,02	36,49 \pm 16,45	0,5898
Total			26,8 \pm 17,11	42,29 \pm 18,34	0,7923

¹DMNT= (E)-4,8-dimetil-1,3,7-nonatrieno.

²TMTT= (E,E)-4,8,12-trimetil1,3,7,11-tridecatetraeno

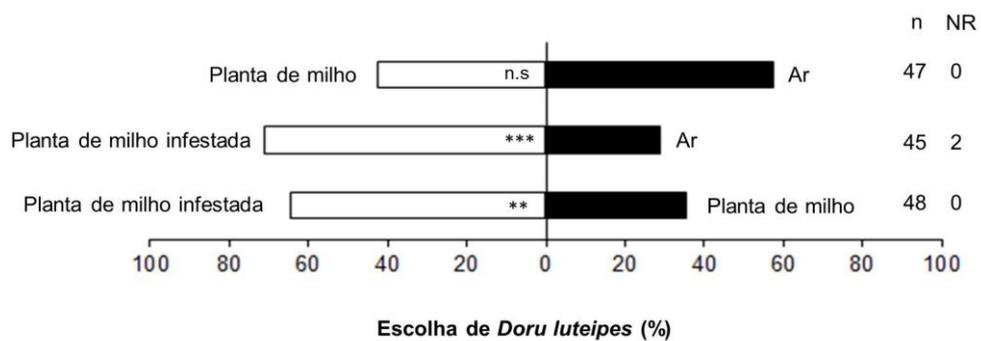
³Teste Wilcox.

Material suplementar

Figura S1: Preferência olfativa de *Doru luteipes* frente aos voláteis da planta de milho. As fontes de odor consistiram em: (i) Planta de milho *versus* ar limpo; (ii) Planta de milho infestada pela *Spodoptera frugiperda* *versus* ar limpo; (iii) Planta de milho infestada pela *S. frugiperda* *versus* Planta de milho.

NR representa o número de insetos “não resposta” e n o número de repetições.

*** diferença significativa em 0,1%; ** diferença significativa em 1%; n.s não significativo (Glm-binomial, testes chi quadrado de Wald).



ARTIGO 3**FERTILIZAÇÃO COM SILÍCIO ASSOCIADA OU NÃO COM INSETICIDA SOBRE
POPULAÇÕES NATURAIS DE *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH) E *Dalbulus maidis*
(DELONG & WOLCOTT) EM CULTIVOS DE MILHO**

Patrícia Pereira¹; Marvin Mateo Pec Hernandez²; Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor^{1*}
Bruno Henrique Sardinha de Souza¹

¹Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000

²Departamento de Entomologia e Acarologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq-USP), Piracicaba-SP, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 9, CEP 13.418-900.

Resumo

O uso do Si na cultura do milho tem sido alvo de muitos estudos em virtude dos benefícios que pode proporcionar, como o aumento da resistência direta e indireta contra insetos-praga além de melhorias nas características fitotécnicas da cultura. Por muito tempo, acreditou-se que a resistência proporcionada pela fertilização com Si era somente devido ao acúmulo desse mineral na parede celular formando uma barreira mecânica, porém estudos recentes mostraram uma relação do Si com a rota de defesa modulada pelo ácido jasmônico, indicando que ele também atua na ativação de rotas bioquímicas de defesa contra herbivoria, com potencial para uso em estratégias de Manejo Integrado de Pragas. Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar, em condições de campo, o efeito da fertilização com Si no aumento da resistência de plantas de milho contra duas pragas importantes da cultura, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) e *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott), além de avaliar os efeitos na população do predador *Doru luteipes* (Scudder, 1876) e em características fitotécnicas e fisiológicas da cultura. O experimento foi realizado em duas safras, constituído por quatro tratamentos distribuídos em seis blocos ao acaso. Os tratamentos utilizados foram: (I) plantas de milho controle; (II) plantas de milho tratadas com inseticida químico; (III) plantas de milho fertilizadas com Si, e (IV) plantas de milho fertilizadas com Si e tratadas com inseticida químico. O Si foi fornecido na forma de Silicato de Cálcio e Magnésio, aplicado de forma manual. A fertilização com Si mostrou controlar a população de *S. frugiperda* em infestações iniciais, sendo esse efeito perdido ao longo do experimento e não mostrou nenhum efeito sobre o controle de *D. maidis*. A população de *D. maidis* foi afetada positivamente pela aplicação do inseticida químico, aumentando o número desses insetos nos tratamentos que receberam a aplicação do inseticida. Já a população de *D. luteipes* não foi afetada pela aplicação do Si. A maioria dos parâmetros fitotécnicos e fisiológicos das plantas de milho não diferiram entre os tratamentos exceto o extravasamento de eletrólitos. Estudos posteriores são necessários para investigar com mais detalhes as interações observadas neste trabalho, mas de modo geral a fertilização com Si demonstrou potencial para controle de infestações iniciais da *S. frugiperda*.

Palavra-chave: Indutor de resistência de plantas, MIP, ácido silícico, lagarta-do-cartucho, cigarrinha-do-milho.

Introdução

O milho é um dos grãos de maior importância social e econômica no Brasil, devido aos diversos fins de seu produto e subproduto, sendo utilizado na alimentação animal e humana, onde é considerado um alimento básico em muitos países, especialmente nos trópicos e subtropicais, além de ser um componente importante na indústria de alta tecnologia (GARCIA et al., 2006) e gerador de milhares de empregos dentro da sua cadeia produtiva. Em escala mundial, foram produzidas 1.125.030 milhões de toneladas deste grão, onde EUA, China e Brasil se destacam no ranking mundial de produção (USDA, 2021). Na América do Sul, o Brasil é o principal exportador deste grão, com uma participação de mais de 20% do mercado mundial (USDA, 2021). A produção de milho brasileira sofre perdas econômicas significativas devido a fatores abióticos e bióticos (OERKE, 2006; SANTOS et al., 2006), de modo que o ataque de insetos e outros herbívoros podem ocasionar redução na produção de aproximadamente 6 a 19% (OERKE, 2006).

No Brasil e em todo continente Americano, Africano, e em parte da Ásia e Oceania, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), conhecida popularmente como lagarta-do-cartucho, é uma das principais pragas da cultura do milho (CRUZ, 1993; EPPO, 2021). Seu ataque promove perfurações no tecido foliar, ocasionando grande percentual de desfolha, má formação ou até mesmo a não formação dos grãos (CRUZ, 1995).

Outra praga que tem apresentado destaque nos últimos anos devido ao aumento populacional nos plantios de milho é a cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae) (DE OLIVEIRA et al., 2013). A cigarrinha-do-milho pode ocasionar danos diretos à cultura através da sucção contínua da seiva, mas também danos indiretos, ocasionando prejuízos econômicos elevados, podendo reduzir a produção de grãos em até 91,3% (TOFFANELLI; BEDENDO, 2002). Os danos indiretos ocorrem em função da cigarrinha-milho atuar como vetora de doenças que são transmitidas de forma persistente e propagativa por três fitopatógenos importantes, o vírus-da-risca-do-milho (*Maize rayado fino virus*- MRFV) e dois mollicutes: um espiroplasma (*Spiroplasma kunkelli*) e um fitoplasma (*Maize bushy stunt phytoplasma*- MBSP) (NAULT, 1980, 1990), causando respectivamente o enfezamento-pálido e o enfezamento-vermelho.

Para tentar conter o ataque desses insetos os produtores passaram a utilizar um alto volume de inseticidas químicos; no entanto, essa necessidade excessiva de inseticidas químicos é altamente problemática, pois além de encarecer o custo de produção, apresenta elevado potencial de contaminação ambiental, riscos à saúde humana e animal e leva à

seleção de populações de insetos resistentes (YU et al., 2003), como já ocorreu principalmente para *S. frugiperda* (ZHU et al., 2015). Com o intuito de prolongar a vida útil dos ingredientes ativos e minimizar os impactos negativos ocasionados pelo uso abusivo dos inseticidas químicos, outros métodos de controle dentro do contexto do Manejo Integrado de Pragas (MIP) estão sendo cada vez mais estudados para o controle de insetos-praga, principalmente a partir da indução e aumento dos níveis de resistência das plantas.

O uso de indutores de resistência, como o Silício (Si), em plantas é uma tática promissora do MIP, pois não apresenta risco de seleção de populações de insetos-praga resistentes (STOUT et al., 2002; SOBHY et al., 2014). Os indutores de resistência agem como um sinal falso de herbivoria o que irá levar a ativação da síntese de defesa induzida das plantas, tornando-as mais resistentes, devido à produção de toxinas, deterrentes ou repelentes aos herbívoros (defesas diretas), ou compostos voláteis atraentes para os inimigos naturais dos herbívoros (defesas indiretas) (STOUT et al., 2002). O Si, é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e na solução do solo (EPSTEIN, 1994). Apesar de não ser considerado um elemento essencial para o crescimento das plantas, seus benefícios já foram reconhecidos por promover o aumento da resistência de plantas contra fungos e insetos (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995; REYNOLDS et al., 2009), sendo considerado como uma “substância benéfica” pelo International Plant Nutrition Institute (IPNI, 2015). O aumento da resistência das plantas pela indução com Si é desencadeado a partir de dois processos principais: (i) proteção mecânica proporcionada pelo acúmulo de SiO₂ na parede celular das plantas (YOSHIDA et al., 1962; GOUSSAIN et al., 2002) e (ii) uma resposta bioquímica que desencadeia alterações metabólicas, relatado mais recentemente (YE et al., 2013).

A polimerização do Si na parede celular forma uma barreira física denominada como “dupla camada silício-cutícula”, o que aumenta a abrasividade dos tecidos vegetais, acelerando o desgaste das mandíbulas (GOUSSAIN et al., 2002), e reduzindo a palatabilidade e a digestibilidade dos herbívoros (GOUSSAIN et al., 2002; GOUSSAIN et al., 2005; VILELA et al., 2014). No interior do tecido vegetal, o Si é translocado na forma de ácido monossilícico Si(OH)₄, o qual é descrito como um indutor de sinais de estresse sistêmico, incluindo os sinais modulados pelo ácido jasmônico (AJ) (FAUTEUX et al., 2005). Por sua vez, o AJ corresponde à via de sinalização primária que é ativada pela ação da herbivora de insetos-praga, levando à produção de voláteis de plantas induzidos por herbivoria (VPIH) que são atraentes a predadores e parasitoides. A interação entre Si e a via do AJ foi confirmada pela primeira vez em um estudo realizado por Ye et al. (2013), onde demonstraram que os

níveis de AJ após a herbivoria são maiores em plantas fertilizadas com Si do que em plantas não fertilizadas. Os efeitos da fertilização com Si no terceiro nível trófico ainda apresentam lacunas a serem preenchidas, sendo objeto de estudo de poucos trabalhos (KVEDARAS et al., 2010; YE et al., 2013; LIU et al., 2017; NIKPAY et al., 2017; DE OLIVEIRA et al., 2020; PEREIRA et al., 2021).

Os benefícios proporcionados pela indução das plantas com Si vão além do aumento da resistência contra insetos herbívoros e também fitopatógenos, de modo que as plantas se tornam mais eretas, rígidas, e conseqüentemente mais resistentes ao acamamento (LIANG et al., 2013), o que também favorece a maior interceptação de luz, aumentando a eficiência fotossintética (MARSCHNER, 1995). O Si ameniza os efeitos provocados pelo estresse salino por meio da inibição da absorção de Na^+ (ZHU; GONG, 2014) e Cl^- (SHI et al., 2013), reduz as perdas de água através da transpiração cuticular em plantas sob estresse hídrico (GONG et al., 2003) e aumenta a tolerância à radiação UV (GOTO et al., 2003; SHEN et al., 2010), o vigor e a produtividade das plantas (CREELMAN; MULLET, 1997).

Apesar de todos os benefícios proporcionados pela aplicação de Si nas plantas, esta é uma prática limitada no MIP, pois nem todas as espécies de plantas possuem a capacidade de acumular o mineral. As plantas classificadas como acumuladoras são aquelas que apresentam a relação molar Silício: Cálcio nos tecidos acima de 1,0 (MA et al., 2001). O milho, como as demais espécies da família Poaceae, é uma planta acumuladora de Si e, portanto, seu uso como estratégia para aumentar a resistência das plantas contra insetos herbívoros se torna uma prática viável e com potencial para reduzir as perdas ocasionadas pelo ataque de insetos-praga, sendo compatível com os programas de MIP.

Na literatura existem vários trabalhos que demonstram o aumento da resistência das plantas ao ataque de herbívoros a partir da aplicação exógena de silício em ensaios laboratoriais e em casa de vegetação, no entanto, existe uma carência de informações a respeito do real efeito da aplicação de Si em ensaios de campo (NERI et al., 2009; DALASTRA et al., 2011; ASIS et al., 2012; TOSCANO et al., 2016; VILLEGAS et al., 2017) avaliando a infestação natural de importantes pragas do milho. Trabalhos de campo são de extrema importância, pois é a partir deles que se pode avaliar a real viabilidade de uma nova estratégia de manejo e ajustá-la caso necessário. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial da aplicação de Si como indutor de resistência de milho contra duas pragas-chave desta cultura, *S. frugiperda* e *D. maidis*, seus efeitos na população do predador *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae) e em determinadas

características fitotécnicas e fisiológicas da cultura em ensaios de campo sob infestação natural dos insetos-praga.

Material e métodos

Descrição do local e condições experimentais

O experimento em campo foi desenvolvido na fazenda experimental da Universidade Federal de Lavras- UFLA, conhecida como “Fazenda Muquém” (919 m de altitude, 21°15’S de latitude e 45°00’W de longitude). O clima da região é classificado como temperado chuvoso (cwa) (DANTAS; CARVALHO, 2007) e o solo como latossolo vermelho amarelo, argiloso (SILVA et al., 2014). A pluviosidade média entre os meses correspondentes ao experimento da primeira e segunda safra foi de 356 e 244 mm, respectivamente (INMET).

O experimento foi realizado em duas safras em áreas distintas: a primeira em 2019/2020 (semeadura em dezembro de 2019) e a segunda em 2020/2021 (semeadura em novembro de 2020). Foram utilizadas sementes de milho do híbrido convencional BM 207 (Biomatrix). A semeadura foi realizada de forma mecanizada, utilizando o espaçamento de 0,2 m entre plantas e 0,5 m entre linhas. A adubação na semeadura foi realizada utilizando-se o adubo NPK 8-28-16, e foram realizadas duas adubações de cobertura (estádios fenológicos V4 e V8) utilizando ureia na dosagem de 250 kg ha^{-1} . Foram realizadas capinas manuais quando necessário para manter a área de cultivo livre de plantas invasoras.

Descrição dos tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental em ambas as safras foi em blocos ao acaso, sendo avaliados quatro tratamentos e seis blocos como repetições. Cada bloco foi constituído por quatro parcelas correspondentes a cada um dos tratamentos: (I) plantas de milho controle; (II) plantas de milho tratadas com inseticida químico; (III) plantas de milho fertilizadas com Si; e (IV) plantas de milho fertilizadas com Si e tratadas com inseticida químico. Cada parcela foi composta por quatro linhas de 5 m de comprimento espaçadas em 0,5 m. As avaliações foram realizadas em 10 plantas escolhidas aleatoriamente dentro das duas linhas centrais de cada parcela (Fig. 1). Em volta de toda a área experimental havia duas fileiras de plantas de milho que serviram como bordadura.

O Si foi fornecido ao solo através do produto comercial à base de silicato de cálcio e magnésio em pó (SiliFértil Ambiental LTDA- Fazenda Coronha, São Joaquim de Bicas, Brasil), composto por 36-40% de CaO, 6-9% de MgO e 22 % de SiO₂, em duas aplicações. A primeira aplicação foi na dosagem equivalente a 2 ton SiO₂ ha⁻¹, aplicado de forma manual na linha de plantio no estágio fenológico V2, e a segunda aplicação na dosagem equivalente a 1 ton SiO₂ ha⁻¹, aplicado no estágio fenológico V12. O inseticida químico utilizado foi à base da mistura comercial de lambda-cialotrina e tiametoxam (Engeo PlenoTM S, Syngenta), aplicado na dose de 200 ml ha⁻¹ através de um pulverizador costal manual com ponta do tipo leque e pressão constante (~3kgf/cm²), utilizando volume de aplicação equivalente a 200 L ha⁻¹. A aplicação do inseticida nas parcelas dos tratamentos correspondentes ocorreu no momento em que as pragas atingiram o nível de controle, baseada em amostragens realizadas semanalmente. O nível de controle recomendado para *S.frugiperda* é de 20% de plantas com notas maior ou igual a três e para *D. maidis* é correspondente a um inseto por planta.

Avaliação das infestações de *S. frugiperda* e *D. maidis*

As avaliações da infestação natural de *S. frugiperda* e *D. maidis* no cultivo de milho foi realizada nos estádios fenológicos V4, V6, V8, V10, V12. A infestação de *S. frugiperda* foi determinada através de atribuições de notas de injúria com base na escala Davis (DAVIS; NG; WILLIAMS, 1992). Já a infestação de *D. maidis* foi avaliada por meio da contagem dos insetos presentes dentro do cartucho da planta de milho.

Avaliação da ocorrência do predador *D. luteipes*

Os números dos predadores *D. luteipes* presentes na área de cultivo foram determinados pela contagem dos adultos presentes nas plantas nos estádios V11 e R1.

Avaliação dos sintomas das doenças transmitidas por *D. maidis*

Os danos indiretos ocasionados pela cigarrinha-do-milho foram analisados através da avaliação da porcentagem de plantas com manifestação dos sintomas das doenças enfezamento-pálido, enfezamento-vermelho, e *Maize rayado fino virus*, transmitidos pelo vetor *D. maidis*. A avaliação dos sintomas foi realizada nas plantas de milho no estágio fenológico R3.

Avaliação das características fitotécnicas e fisiológicas das plantas de milho

As características fitotécnicas e fisiológicas das plantas de milho avaliadas foram: número de espigas, altura até a folha bandeira, tombamento das plantas, clorofila, teor relativo de água e estabilidade de membrana celular. O número de espigas foi determinado no estágio fenológico R3 e os demais parâmetros no estágio V11. A altura das plantas foi determinada com o auxílio de uma trena, onde foi mensurada a altura da base da planta até a folha bandeira (m). O tombamento das plantas foi estimado pelo número de plantas com o caule quebrado ou tombadas em cada parcela (foi avaliado na parcela inteira, e não somente nas duas linhas centrais). O número de espigas foi obtido através da contagem do número de espigas presentes em cada planta no estágio reprodutivo. Para a avaliação do índice relativo de clorofila foi utilizado o medidor portátil ClorofiLOG- CFL1030 (FALKER, Porto Alegre, RS, Brasil). As leituras foram realizadas no período da manhã, e em cada planta foi realizada a leitura de duas folhas do terço médio.

As avaliações dos parâmetros teor relativo de água e extravasamento de eletrólitos foram conduzidas no Laboratório de Cultura de Tecidos do departamento de Agricultura da UFLA (Lavras, MG) imediatamente após a coleta do material vegetal. Estes parâmetros são medidas para avaliar a tolerância da planta ao déficit hídrico e ao estresse celular, respectivamente. Cada repetição foi composta por quatro discos foliares (1 cm de diâmetro) retirados das duas folhas mais jovens expandidas da planta, onde de cada parcela foram retiradas duas plantas, totalizando 12 repetições por tratamento. A determinação do teor relativo de água foi calculada seguindo a fórmula proposta por Barrs e Weatherley (1962), já a determinação da taxa de extravasamento de eletrólitos foi calculada com a fórmula proposta por Shi et al. (2006).

Análise estatística

Os dados de altura, clorofila foram analisados por one-way ANOVA depois se ser conferidos os pressupostos de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Bartlett). As doenças Enfezamento-pálido, Enfezamento-vermelho, *Maize rayado fino vírus*, a porcentagem de Tombamento foi analisada por modelos lineares generalizado com distribuição binomial. O número de tesourinhas, o número de cigarrinhas, a nota de injurias da *S. frugiperda* e o número de espigas foram analisadas por modelos lineares generalizados com

distribuição quasipoisson pelo fato de apresentar sobredispersão. Os dados de Teor relativo de água, Estabilidade de membrana celular foram analisados por Glm distribuição Gamma. O teste da razão de verossimilhança (log likelihood ratio) foi utilizado para comparar o efeito dos tratamentos, seguida por comparações pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$) sendo os p-valores corrigidos por Bonferroni com o pacote emmeans. A qualidade do ajuste dos modelos lineares generalizados forma determinada através de um gráfico semi-normal com um envelope de simulação.

Todas as análises foram feitas utilizando-se o software R 3.6 (R Core Team, 2019) e foram utilizados os seguintes pacotes lme4 (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015), emmeans (Searle, Speed, & Milliken, 1980) e hnp (Moral, Hinde, & Demétrio, 2017).

Resultados

Avaliação das infestações de *S. frugiperda* e *D. maidis*

As infestações naturais dos insetos *S. frugiperda* e *D. maidis* foram avaliadas nas plantas de milho a partir do estágio fenológico V4, no entanto, a apresentação dos dados foi dividida em duas partes. A primeira parte corresponde à análise dos dados iniciais (estádios fenológicos V4 e V6), antes dos insetos-praga atingirem o nível de controle e consequente aplicação do inseticida químico, havendo então, efetivamente, somente dois tratamentos nessas avaliações iniciais (*I* plantas de milho controle e *III* plantas de milho fertilizadas com Si); a segunda parte corresponde aos dados obtidos nas avaliações após a aplicação do inseticida químico (estádios fenológicos V8, V10 e V12), onde havia os quatro tratamentos.

Comparando-se a infestação inicial (estádios fenológicos V4 e V6) de *S. frugiperda*, não houve diferenças significativas entre os tratamentos no experimento da primeira safra (Fig. 2A, V4: Glm, Quasipoisson, $x^2= 1,562$, $df= 1$, $P= 0,212$; V6: Glm, Quasipoisson, $x^2= 1,113$, $df= 1$, $P= 0,736$). No experimento da segunda safra, a infestação média de *S. frugiperda* foi aproximadamente duas vezes menor no tratamento com aplicação de Si em relação ao tratamento controle no estágio V6 (Fig. 3A, V6: Glm, Quasipoisson, $x^2= 8,469$, $df= 1$, $P= 0,004$), evidenciando um possível efeito negativo da fertilização sobre a infestação inicial desse inseto; no estágio V4 não houve diferença significativa entre os tratamentos (Fig. 3A, V4: Glm, Quasipoisson, $x^2= 1,000$, $df= 1$, $P= 0,317$). A infestação inicial de *D. maidis* não apresentou diferença significativa entre os tratamentos nos experimentos da primeira (Fig. 2B, V4: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 0,561$, $df = 1$, $P= 0,454$; V6: Glm, Quasipoisson, $x^2 =$

0,501, $df = 1$, $P = 0,479$) e segunda safra (Fig. 3B, V4: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 1,897$, $df = 1$, $P = 0,168$; V6: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 4,028$, $df = 1$, $P = 0,054$).

Nas avaliações após a aplicação do inseticida químico (estádios fenológicos V8, V10 e V12), houve um padrão de injúria de *S. frugiperda* semelhante nos estádios V10 e V12 nos resultados obtidos para a primeira safra (Fig. 2C, V10: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 11,309$, $df = 3$, $P = 0,010$; V12: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 8,084$, $df = 3$, $P = 0,044$). Ocorreram maiores médias de nota de injúria no tratamento III com plantas de milho fertilizadas com Si, apesar de estatisticamente não diferir dos tratamentos I e II, e menor média de nota de injúria no tratamento IV com plantas fertilizadas com Si e tratadas com inseticida químico, apesar de estatisticamente não diferir dos tratamentos I e II. Quando comparados os tratamentos III e IV observa-se diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o tratamento IV apresentou a menor média. As médias de injúria obtidas no estágio V8 não diferiram entre os tratamentos (Fig. 2C, V8: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 1,328$, $df = 3$, $P = 0,722$).

No experimento da segunda safra, as menores médias de nota de injúria também foram obtidas no tratamento IV com plantas de milho fertilizadas com Si e tratadas com inseticida químico. No estágio V8, o tratamento IV obteve a menor média de injúria em relação aos tratamentos I e III (Fig. 3C, V8: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 11,213$, $df = 3$, $P = 0,011$), enquanto no estágio V10 o tratamento IV obteve a menor média de injúria em relação ao tratamento I (Fig. 3C, V10: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 11,406$, $df = 3$, $P = 0,010$). No estágio V12 não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Fig. 3C, V12: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 4,261$, $df = 3$, $P = 0,235$).

A infestação de *D. maidis* apresentou diferença significativa apenas na primeira avaliação (estádio fenológico V8) do experimento da primeira safra (Fig. 2D, V8: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 15,847$, $df = 3$, $P = 0,001$), onde se obteve menor média de infestação no tratamento III em comparação com os tratamentos II e IV. Nas demais avaliações não se obtiveram diferenças significativas entre os tratamentos da primeira (Fig. 2D, V10: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 3,001$, $df = 3$, $P = 0,391$; V12: Glm, Quasipoisson $x^2 = 0,240$, $df = 3$, $P = 0,971$) e segunda safra (Fig. 3D, V8: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 2,552$, $df = 3$, $P = 0,466$; V10: Glm, Quasipoisson, $x^2 = 2,947$, $df = 3$, $P = 0,400$; V12: Glm, Quasipoisson $x^2 = 3,812$, $df = 3$, $P = 0,282$).

Avaliação da ocorrência do predador *D. luteipes*

O número de tesourinhas apresentou diferença significativa entre os tratamentos apenas na avaliação no estádio fenológico V11 realizada na primeira safra. Observou-se que o número médio de tesourinhas foi maior no tratamento *II* com plantas de milho tratadas com inseticida químico em relação ao tratamento *III* com plantas fertilizadas com Si (Fig. 4A, Glm, Quasipoisson, $x^2= 9,476$, $df= 3$, $P= 0,024$). As demais avaliações da primeira e segunda safra não apresentaram diferenças significativas para a ocorrência do predador entre os tratamentos (Fig. 4B, Glm, Quasipoisson, $x^2= 3,332$, $df= 3$, $P= 0,343$; Fig. 4C, Glm, Quasipoisson, $x^2= 4,496$, $df= 3$, $P= 0,213$; Fig. 4D, Glm, Quasipoisson, $x^2= 0,755$, $df= 3$, $P= 0,860$).

Avaliação dos sintomas das doenças transmitidas por *D. maidis*

As plantas de milho manifestaram os sintomas das três doenças avaliadas, enfezamento-pálido, enfezamento-vermelho, e *Maize rayado fino virus*, para as quais a cigarrinha-do-milho é vetora. No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para nenhuma das doenças nas duas safras avaliadas (Tabela 1).

Avaliação das características fitotécnicas e fisiológicas das plantas de milho

A maioria das características fitotécnicas e fisiológicas avaliadas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos nas safras avaliadas, como ocorreu com o número de espigas, altura, tombamento, teor relativo de clorofila e teor relativo de água (Tabela 1).

Da mesma forma, o extravasamento de eletrólitos não apresentou diferença entre os tratamentos na avaliação da primeira safra; no entanto, observou-se diferença significativa entre os tratamentos na segunda safra, onde o tratamento *III* com plantas de milho fertilizadas com Si e *IV* com plantas de milho fertilizadas com Si e tratadas com inseticida químico apresentaram os maiores índices (Tabela 1).

Discussão

Para diminuir a dependência do uso de inseticidas químicos no controle de insetos-praga é fundamental o estudo de novas estratégias que possam ser introduzidas em programas de MIP. Uma estratégia promissora é com o aumento dos níveis de resistência das plantas a

partir da aplicação de indutores de resistência, tais como com fertilizações com Si. Porém, a real viabilidade e eficiência de novas estratégias de MIP só são validadas através de ensaios de campo, visto que as condições climáticas e comportamentais dos insetos são extremamente diferentes daquelas encontradas em ensaios de laboratório e casa de vegetação, o que ressalta ainda mais a importância dos trabalhos em condições naturais de campo, apesar de serem escassos na literatura. Poucos trabalhos foram publicados até o momento em revistas internacionais com alto fator de impacto relatando os reais efeitos da fertilização com Si sobre a resistência de plantas de importância agrícola contra insetos pragas (VILLEGAS et al., 2017) deixando em aberto uma lacuna sobre os reais benefícios da fertilização com Si sob infestação natural.

No presente trabalho, observou-se uma redução da infestação inicial de *S. frugiperda* no experimento da segunda safra em plantas fertilizadas com Si, deixando as médias de injúria abaixo da nota 1 o que corresponde a lesões muito pequenas nas plantas (Fig. 3A), sugerindo um possível aumento da resistência das plantas de milho fertilizadas com Si e controle do inseto-praga em infestações iniciais, apesar desse padrão não ter sido observado no experimento da primeira safra (Fig. 2A). No estágio fenológico V4 no experimento da segunda safra, as médias de injúria da lagarta-do-cartucho foram muito baixas em ambos os tratamentos, e por isso não apresentou diferença entre tratamentos (Fig. 3A).

Diversos fatores podem influenciar na resistência das plantas contra o ataque de herbívoros, como por exemplo, a infestação múltipla das plantas por insetos de guildas alimentares diferentes (RODRIGUEZ-SAONA et al., 2003; SCHWARTZBERG et al., 2011; ZHANG et al., 2013). Neste trabalho foi observado que quando as plantas de milho estavam infestadas pelas duas pragas avaliadas, *S. frugiperda* e *D. maidis*, e a infestação inicial por *D. maidis* era menor (campo 2) (Fig. 3B) houve um efeito positivo da fertilização com Si no controle de *S. frugiperda*, porém, quando a infestação inicial por *D. maidis* era maior (campo 1) o efeito positivo no controle de *S. frugiperda* era perdido (Fig. 2A e B). A infestação múltipla da planta por insetos herbívoros de guildas alimentares diferentes, neste caso um mastigador e um sugador de floema, pode resultar em uma interação antagonista entre as rotas de defesa moduladas pelo AJ e ácido salicílico (AS) (KOORNNEEF et al., 2008; NIKI et al., 1998; THALER, 1999; THALER et al., 2012; ZHANG et al., 2013), visto que, na maioria dos casos insetos mastigadores induzem as rotas de defesa modulada pelo AJ e insetos sugadores de floema a rota do AS. A rota de defesa modulada pelo AJ também é responsável pela absorção de Si e, conseqüentemente, pela ativação das defesas moduladas pelo fitormônio; desta forma, é plausível que a intercomunicação (*cross-talk*) negativa entre as duas rotas de

defesa diminua a resistência da planta conferida pela fertilização com Si, visto que a via do AS muitas vezes suprime a via do AJ (THALER et al., 2012). Este fenômeno pode explicar o fato de a fertilização com Si não aumentar a resistência das plantas contra *D. maidis* nas duas safras (Fig. 2D e 3D).

Com o decorrer do experimento, o aumento da resistência inicial desencadeado pela fertilização com Si a *S. frugiperda* foi perdido em ambas as safras, e o tratamento apenas com Si apresentou as maiores médias de injúria, semelhante às aquelas observadas no tratamento controle (Fig. 2C e 3C). Apesar das médias dos tratamentos II e IV serem estatisticamente semelhantes, analisando os gráficos (Fig. 2C e 3C) pode-se observar claramente uma redução acentuada nas médias de injúria dos tratamentos que receberam fertilização com Si e o inseticida químico (tratamento IV), efeito que provavelmente não foi ocasionado somente pela ação do inseticida, sugerindo um possível efeito sinérgico desses tratamentos, diminuindo as médias de injúria por *S. frugiperda*. Resultado similar foi encontrado por Neri et al. (2009), que observaram uma interação positiva entre a fertilização com Si e a aplicação do inseticida lufenuron na metade da dose recomendada, diminuindo as médias de injúria da *S. frugiperda* em plantas de milho em campo; porém, também relataram um efeito negativo na interação do Si com a dose total do inseticida.

O inseticida utilizado no presente trabalho é composto por um piretroide (lambda-cialotrina) e um neonicotinoide (tiametoxam) em sua formulação comercial. Neonicotinoides são inseticidas com propriedades bioativas que exercem fortes efeitos nas defesas das plantas. Wulff et al. (2019) relataram que a combinação da exposição de plantas ao neonicotinoide e a herbivoria por ácaros teve um forte efeito na supressão de genes envolvidos na via do AS e indução simultânea de genes relacionados ao AJ. A combinação da herbivoria com o inseticida pode ter ocasionado um efeito sinérgico na expressão de genes nesta via metabólica. O mesmo efeito sinérgico é relatado na literatura em plantas fertilizadas com Si (YE et al., 2013). Dessa forma, a combinação do inseticida e do Si na planta juntamente com a herbivoria de *S. frugiperda* pode ter contribuído para aumentar ainda mais esse sinergismo sobre a via de defesa modulada pelo AJ, levando ao maior controle desse inseto nos tratamentos que continham a fertilização com Si e aplicação do inseticida.

Quando analisados os resultados para *D. maidis*, verifica-se uma interação positiva entre o inseticida e a população de cigarrinhas na avaliação no estágio V8 na primeira safra (Fig. 2D), levando ao aumento da infestação de cigarrinha nesses tratamentos (II plantas de milho tratadas com inseticida químico; e IV plantas de milho fertilizadas com Si e tratadas com inseticida químico). Diversos trabalhos associaram surtos de ácaros às aplicações de

inseticidas neonicotinoides em plantas cultivadas (SCLAR et al., 1998; RAUPP et al., 2004; SZCZEPANIEC et al., 2011; SZCZEPANIEC; RAUPP, 2013; WULFF et al., 2019) e um trabalho á aplicação de inseticidas piretorides em plantas de café (CORDEIRO et al., 2013). Inseticidas do grupo dos piretroides são descritos na literatura por induzir hormese no ácaro-vermelho do cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae), levando ao aumento da sua população, no entanto os mecanismos envolvidos nessas interações foram pouco estudados até o momento em comparação aos neonicotinoides (CORDEIRO et al., 2013). Como dito anteriormente, neonicotinoides são agentes xenobióticos capazes de alterar as funções primárias e secundárias das plantas, o que pode levar à perda da capacidade de se defenderem contra o ataque de herbívoros não afetados pela toxicidade desses inseticidas (FORD et al., 2010; SZCZEPANIEC et al., 2013; STAMM et al., 2014), podendo resultar em maior ocorrência e tamanho dos surtos populacionais. No entanto, os reais efeitos dos neonicotinoides na fisiologia das plantas ainda são contraditórios na literatura, apresentando variações de acordo com a planta, inseticida utilizado, e presença ou ausência de insetos herbívoros, podendo levar à indução ou supressão de diversos genes de defesa das plantas (SZCZEPANIEC et al., 2013; WULFF et al., 2019).

Pesquisas mostram que a integridade da parede celular das plantas também pode ser afetada negativamente pelos neonicotinoides (CHENG et al., 2012; STAMM et al., 2014; WULFF et al., 2019). Cheng et al. (2012) relataram que uma espécie de cigarrinha praga-chave de arroz, *Nilaparvata lugens* (Stal, 1854) (Hemiptera: Delphacidae), teve melhor desempenho biológico em plantas tratadas com neonicotinoides, onde os genes de síntese de lignina foram supressos pelo inseticida. A deposição de lignina na parede celular constitui uma barreira constitutiva de defesa importante contra o ataque de insetos herbívoros; o efeito negativo provocado pelos neonicotinoides nos genes de síntese de lignina provavelmente facilitaria a perfuração das paredes celulares e a manobra entre as células epiteliais para acessar o floema onde as cigarrinhas se alimentam. Wulff et al. (2019) demonstraram que os inseticidas neonicotinoides suprimem ou retardam genes responsivos ao estresse, principalmente aqueles envolvidos no reforço da parede celular. Dessa forma, a combinação da supressão das defesas da planta com a perda da integridade da parede celular provocados pela interação com o inseticida químico podem ter contribuído para o aumento da população desses insetos no campo, como observado neste trabalho.

A maioria dos estudos publicados até o momento neste tema foram realizados apenas avaliando o efeito dos neonicotinoides e piretroides sobre populações de ácaros (SCLAR et al., 1998; RAUPP et al., 2004; SZCZEPANIEC et al., 2011; SEAGRAVES; LUNDGREN,

2012; CORDEIRO et al., 2013; SZCZEPANIEC; RAUPP, 2013; WULFF et al., 2019). Neste estudo, foi observado o mesmo efeito sobre a população natural de cigarrinhas que aumentou logo após a aplicação do inseticida químico, o que infere que este efeito hormético dos neonicotinoides e piretroides se estende a outros herbívoros, principalmente de hábito alimentar do tipo sugador. Isso pode explicar os surtos crescentes de *D. maidis* em lavouras de milho (DE OLIVEIRA et al., 2013), visto que os neonicotinoides e piretroides são inseticidas amplamente utilizados para controle da cigarrinha-do-milho e outros insetos-praga da cultura.

Na literatura é relatado o aumento da atratividade de inimigos naturais em plantas fertilizadas com Si (KVEDARAS et al., 2010; YE et al., 2013; LIU et al., 2017; NIKPAY et al., 2017; PEREIRA et al., 2021), porém, este dado não foi confirmado nos ensaios de campo aqui realizados. Ao contrário do que foi hipotetizado no trabalho, o inseto predador *D. luteipes*, apresentou maior número de adultos no tratamento *II* plantas de milho tratadas com inseticida químico do que no tratamento *III* plantas de milho fertilizadas com Si (Fig. 4A). Uma possível explicação é que a primeira aplicação de Si ocorreu muito tempo antes (aproximadamente seis semanas) da primeira avaliação do número de tesourinhas, o que pode ter ocasionado uma diminuição da absorção desse nutriente do solo, e conseqüentemente diminuição no aumento das defesas indiretas proporcionadas pelo Si. Uma alternativa seria adiantar a segunda aplicação de Si, a qual foi realizada após a primeira avaliação do número de tesourinhas na área de cultivo, o que iria aumentar a absorção de Si no período de avaliação, e que também poderia contribuir para a manutenção da resistência a *S. frugiperda*. Já a segunda avaliação do número de tesourinhas foi realizada no período de florescimento das plantas de milho, e este pode ser o motivo de não haver diferença entre os tratamentos, pois o pólen as atraiu igualmente para todos os tratamentos.

Em relação às características fitotécnicas e fisiológicas, apenas um dos parâmetros aqui avaliados apresentou diferença significativa entre os tratamentos. O teor de extravasamento de eletrólitos foi maior no tratamento *IV* em relação ao tratamento controle, mas estatisticamente semelhante ao tratamento *III* (Tabela 1), mostrando mais uma vez um possível efeito sinérgico entre o Si e o inseticida utilizado. O extravasamento de eletrólitos é um parâmetro utilizado para medir a tolerância da planta ao estresse celular, o que está diretamente relacionado com a integridade da membrana celular. Altas taxas de extravasamento de eletrólitos estão sempre associadas à produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (DEMIDCHIK et al., 2014). As EROs, como por exemplo O^{2-} , H_2O_2 e $OH\bullet$ são componentes importantes das respostas de defesa das plantas contra o ataque de

patógenos e herbívoros (HE et al., 2011), estimulam uma cascata de reações que levam à expressão de genes de defesa, aumentando os níveis de resistência da planta e evitando que sejam atacadas posteriormente (TORRES, 2010). Os teores de extravasamento de eletrólitos no presente estudo foram maiores nos tratamentos com fertilização com Si, o que pode contribuir para a expressão diferencial de genes de defesa e levar ao aumento dos níveis de resistência. Yang et al. (2017) observaram maior concentração de H_2O_2 em plantas fertilizadas com Si e atacadas pela cigarrinha *N. lugens*, assim como Sousa et al., (2022) onde relataram maior concentração de H_2O_2 em plantas de milho fertilizadas com Si na ausência de herbivoria, condizendo com nossos achados. No entanto, estudos posteriores são necessários que avaliem o efeito da fertilização com Si sobre a produção de EROs como H_2O_2 para confirmar o aumento da resistência em plantas no campo e unir essas informações.

Os resultados encontrados neste estudo mostram um potencial da fertilização com Si como estratégia de manejo de *S. frugiperda* em infestações iniciais na cultura do milho; no entanto, torna-se necessário estudo complementar onde se avalie reaplicações de Si visando manter alta a absorção desse nutriente pelas plantas e manter o controle deste inseto por períodos mais longos. A fertilização com Si não provocou nenhum efeito sobre a população de *D. maidis* sob as condições em que este experimento foi realizado, o que sugere que o aumento da resistência proporcionado pela fertilização com Si pode não atuar da mesma forma sobre insetos de guilda alimentar sugador como atua sobre insetos de guilda alimentar mastigador, como *S. frugiperda*. O possível efeito sinérgico observado entre o Si e o inseticida químico utilizado é altamente complexo e precisa ser estudado mais profundamente, pois caso confirmado pode contribuir para o uso de menores doses do inseticida no campo para o controle da lagarta-do-cartucho, contribuindo para um controle mais sustentável e talvez econômico de determinados herbívoros. Da mesma forma, o efeito do inseticida sobre a população da cigarrinha-do-milho fornece informações importantes sobre inseticidas dos grupos químicos dos piretroides e principalmente neonicotinoides que precisam ser estudadas mais a fundo para melhor entendimento e assim evitar possíveis surtos desses insetos no campo, visto que são vetores de diversos patógenos à cultura do milho. Dessa forma, conclui-se que a fertilização com Si é uma estratégia potencialmente viável no manejo de *S. frugiperda* em infestações iniciais em campo, sendo necessários novos estudos que avaliem o efeito de reaplicações de Si sobre a população da praga a fim de otimizar essa estratégia para a incorporação em programas de MIP.

Referências

- ASSIS, F. P. et al. Inducers of resistance in potato and its effects on defoliators and predatory insects. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 38, n. 1, p. 30-34, 2012.
- BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A Re-Examination of the Relative Turgidity Technique for Estimating Water Deficits in Leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 15, n. 3, p. 413-428, 1962.
- CHENG, Y. et al. Possible connection between imidacloprid-induced changes in rice gene transcription profiles and susceptibility to the brown plant hopper *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae). **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 102, n. 3, p. 213-219, 2012.
- CORDEIRO, E. M. G. et al. Beyond selectivity: are behavioral avoidance and hormesis likely causes of pyrethroid-induced outbreaks of the southern red mite *Oligonychus ilicis*?. **Chemosphere**, v. 93, n. 6, p. 1111-1116, 2013.
- CREELMAN, R. A.; MULLET, J. E. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 48, p. 355-381, 1997.
- CRUZ, I. A lagarta-do-cartucho na cultura do milho. EMBRAPA-CNPMS (Circular técnica, 21), p. 45, 1995.
- CRUZ, I. Recomendações técnicas para o cultivo do milho: principais pragas e seu controle. EMBRAPA, SPI (Recomendação Técnica, 1), p. 204, 1993.
- DALASTRA, C. et al. Silício como indutor de resistência no controle do tripses do prateamento *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoimzeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 531-538, 2011.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1862-1866, 2007.
- DAVIS, F. M.; NG, S. S.; WILLIAMS, W. P. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. Mississippi: Mississippi State University (MAFES. Technical bulletin, 186), 1992.
- DEMIDCHIK, V. et al. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. **Journal of experimental botany**, v. 65, n. 5, p. 1259-1270, 2014.
- DE OLIVEIRA, R. S. et al. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **Plos one**, v. 15, n. 4, p. e0231005, 2020
- EPSTEIN, E. Anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings National of Academy Science**, v. 91, p. 11-17, 1994.

EPPO Global Database. *Spodoptera frugiperda* (LAPHFR). Disponível em: <<https://gd.eppo.int/taxon/LAPHFR/distribution>> Acesso em: 05 Dez. 2021.

FAUTEUX, F. et al. The protective role of silicon in the Arabidopsis–powdery mildew pathosystem. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 46, p. 17554-17559, 2006.v

FORD, K. A. et al. Neonicotinoid insecticides induce salicylate-associated plant defense responses. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 41, p. 17527-17532, 2010.v

GARCIA, J. C. et al. Aspectos econômicos da produção e utilização do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006.

GONG, H. et al. Effects of silicon on growth of wheat under drought. **Journal of plant nutrition**, v. 26, n. 5, p. 1055-1063, 2003.

GOTO, M. et al. Protective effect of silicon on phenolic biosynthesis and ultraviolet spectral stress in rice crop. **Plant Science**, v. 164, n. 3, p. 349-356, 2003.

GOUSSAIN, M. M. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, p. 305-310, 2002.

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

HE, J. et al. Chrysanthemum leaf epidermal surface morphology and antioxidant and defense enzyme activity in response to aphid infestation. **Journal of plant physiology**, v. 168, n. 7, p. 687-693, 2011.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normas climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/> Acesso em 8 de outubro de 2021.

International Plant Nutrition Institute. IPNI (2015). Nutri-facts. Silicon. No. 14.

KOORNNEEF, A. et al. Open access kinetics of salicylate-mediated suppression of jasmonate signaling reveal a role for redox modulation. **Plant Physiology**, v. 147, n. 3, p. 1358-1368, 2008.

KVEDARAS, O. L. et al. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of entomological research**, v. 100, n. 3, p. 367-371, 2010.

LIANG, S. J. et al. Effects of stem structural characters and silicon content on lodging resistance in rice (*Oryza sativa* L.). **Research on Crops**, v. 14, n. 3, p. 621-636, 2013.

LIU, J. et al. Silicon supplementation alters the composition of herbivore induced plant volatiles and enhances attraction of parasitoids to infested rice plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p.1265, 2017.

NAULT, L. R. Evolution of insect pest: maize and leafhopper, a case study. **Maydica**, v. 35, p. 165-175, 1990

NAULT, L. R. Maize bushy stunt and corn stunt: a comparison of disease symptoms, pathogens host ranges, and vectors. **Phytopathology**, v. 70, p. 659-662, 1980.

NERI, D. K. P. et al. Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. **Ci Rural**, 2009.

NIKI, T. et al. Antagonistic effect of salicylic acid and jasmonic acid on the expression of pathogenesis-related (PR) protein genes in wounded mature tobacco leaves. **Plant & Cell Physiology**, v. 39, n. 5, p. 500-507, 1998.

NIKPAY, A.; NEJADIAN, E. S. Field applications of silicon-based fertilizers against sugarcane yellow mite *Oligonychus sacchari*. **Sugar Technology**, v. 16, p. 319-324, 2014.

NIKPAY, A. et al. Efficacy of silicon formulations on sugarcane stalk borers, quality characteristics and parasitism rate on five commercial varieties. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 87, n. 2, p. 289-297, 2017.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2^o ed. London: Academic, p. 889, 1995.

OERKE, E.-C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006.

DE OLIVEIRA, C. M. et al. Abundance and species richness of leafhoppers and planthoppers (Hemiptera: Cicadellidae and Delphacidae) in Brazilian maize crops. **Florida Entomologist**, v. 96, n. 4, p. 1470-1481, 2013.

PEREIRA, P. et al. Silicon Supplementation of Maize Impacts Fall Armyworm Colonization and Increases Predator Attraction. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 654-661, 2021.

RAUPP, M. J. et al. Incidence, abundance, and severity of mites on hemlocks following applications of imidacloprid. 2004.

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, p. 171-186. 2009.

RODRIGUEZ-SAONA, C.; CRAFTS-BRANDNER, S. J.; CANAS, L. A. Volatile emissions triggered by multiple herbivore damage: beet armyworm and whitefly feeding on cotton plants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 29, n. 3, p. 2539-2550, 2003.

SANTOS, M. L. et al. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 313-321, 2006.

SCLAR, D. C.; GERACE, D.; CRANSHAW, W. S. Observations of population increases and injury by spider mites (Acari: Tetranychidae) on ornamental plants treated with imidacloprid. **Journal of Economic Entomology**, v. 91, n. 1, p. 250-255, 1998.

SCHWARTZBERG, E. G.; BOROCZKY, K.; TUMLINSON, J. H. Pea aphids, *Acyrtosiphon pisum*, suppress induced plant volatiles in broad bean, *Vicia faba*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 37, n. 1, p. 1055-1062, 2011.

SEAGRAVES, M. P.; LUNDGREN, J. G. Effects of neonicotinoid seed treatments on soybean aphid and its natural enemies. **Journal of Pest Science**, v. 85, n. 1, p. 125-132, 2012.

SHEN, X. et al. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal of plant physiology**, v. 167, n. 15, p. 1248-1252, 2010.

SHI, Q. et al. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. **Plant Growth Regulation**, v. 48, n. 2, p. 127-135, 2006.

SHI, Yu et al. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. **Journal of plant physiology**, v. 170, n. 9, p. 847-853, 2013.

SILVA, B. M.; SANTOS, W. J. R.; MARQUES, J. J. Levantamento detalhado dos solos da Fazenda Muquém/UFLA. **Lavras: UFLA**, 2014.

SOBHY, I. S. et al. The prospect of applying chemical elicitors and plant strengtheners to enhance the biological control of crop pests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 369, n. 1639, p. 20120283, 2014.

SOUSA, A. C. G. et al. Characterization of priming, induced resistance, and tolerance to *Spodoptera frugiperda* by silicon fertilization in maize genotypes. **Journal of Pest Science**, p. 1-14, 2022.

STAMM, M. D. et al. Transcriptional response of soybean to thiamethoxam seed treatment in the presence and absence of drought stress. **BMC genomics**, v. 15, n. 1, p. 1-13, 2014.

STOUT, M. J.; ZEHNDER, G. W.; BAUR, M. E. Potential for the use of elicitors of plant resistance in arthropod management programs. **Arch Insect Biochemistry**, v. 51, p. 222-235, 2002.

SZCZEPANIEC, A. et al. Neonicotinoid insecticide imidacloprid causes outbreaks of spider mites on elm trees in urban landscapes. **PloS one**, v. 6, n. 5, p. e20018, 2011.

SZCZEPANIEC, A.; RAUPP, M. J. Direct and indirect effects of imidacloprid on fecundity and abundance of *Eurytetranychus buxi* (Acari: Tetranychidae) on boxwoods. **Experimental and applied acarology**, v. 59, n. 3, p. 307-318, 2013.

SZCZEPANIEC, A, et al. Neonicotinoid insecticides alter induced defenses and increase susceptibility to spider mites in distantly related crop plants. **PLoS one**, v. 8, n. 5, p. e62620, 2013.

THALER, J. S. Jasmonate-inducible plant defenses cause increased parasitism of herbivores. **Nature**, v. 399, n. 1, p. 686-688, 1999.

THALER, J. S.; HUMPHREY, P. T.; WHITEMAN, N. K. Evolution of jasmonate and salicylate signal crosstalk. **Trends in plant science**, v. 17, n. 5, p. 260-270, 2012.

TOFFANELLI, C. M.; BEDENDO, I. P. Effect of infective population of *Dalbulus maidis* on kernel yield and symptoms development associated with the maize bushy stunt phytoplasma. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 82-86, 2002.

TORRES, Miguel Angel. ROS in biotic interactions. **Physiologia plantarum**, v. 138, n. 4, p. 414-429, 2010.

TOSCANO, L. C. et al. Híbridos de milho frente ao ataque de *Spodoptera frugiperda* em associação com adubação silicatada e o efeito sobre o predador *Doru luteipes*. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 1, p. 51-55, 2016.

USDA, United States Department of Agriculture- Foreign Agricultural Service. Relatório técnico. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery> Acesso em 14 de dezembro de 2021.

VILELA, M. et al. Induced resistance to *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) via silicon application in sugarcane. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 40, n. 1, p. 44-48, 2014.

VILLEGAS, J. M. et al. Integrating soil silicon amendment into management programs for insect pests of drill-seeded rice. **Plants**, v. 6, n. 3, p. 33, 2017.

ZHANG, P. J. et al. Jasmonate and ethylene signaling mediate whitefly-induced interference with indirect plant defense in *Arabidopsis thaliana*. **New Phytologist**, v.197, n. 4, p. 1291-1299, 2013.

ZHU, Y. C. et al. Evidence of multiple/cross resistance to Bt and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 122, p. 15-21, 2015.

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.

YANG, F. et al. Cross-resistance to purified Bt proteins, Bt corn and Bt cotton in a Cry2Ab2-corn resistant strain of *Spodoptera frugiperda*. **Pest management science**, v. 73, n. 12, p. 2495-2503, 2017.

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

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

YU, S. J.; NGUYEN, S. N.; ABO-ELGHAR, G. E. Biochemical characterization of insecticide resistance in the fall armyworm. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 77, p. 1-11, 2003.

WULFF, J. A. et al. Neonicotinoid insecticides alter the transcriptome of soybean and decrease plant resistance. **International journal of molecular sciences**, v. 20, n. 3, p. 783, 2019.

Figuras

Figura 1- Desenho esquemático do delineamento experimental que foi utilizado no experimento de campo. Os números na horizontal na parte superior representam o número do bloco e os números na dentro dos quadrados representam os tratamentos: (I) plantas de milho controle; (II) plantas de milho tratadas com inseticida químico; (III) plantas de milho fertilizadas com Si, e (IV) plantas de milho fertilizadas com Si e tratadas com inseticida químico.

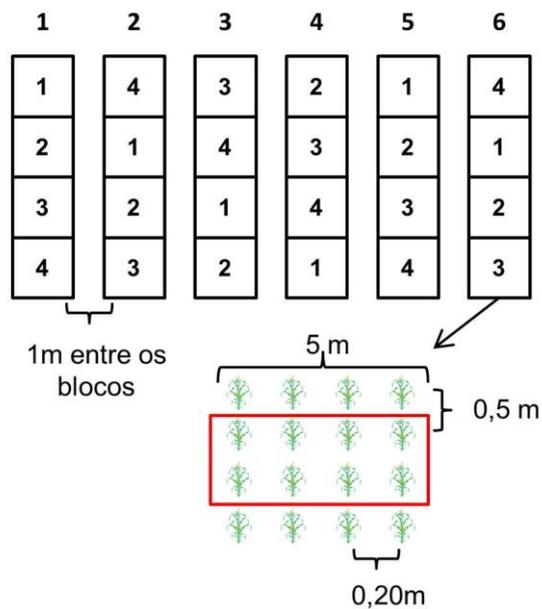


Figura 2- Avaliação da infestação média de *Spodoptera frugiperda* e *Dalbulus maidis* (média \pm erro padrão) em plantas de milho durante o experimento da primeira safra. A- Nota de consumo médio de *S. frugiperda* por tratamento durante o estágio fenológico do milho V4 e V6. B- Número médio de *D. maidis* por tratamento durante o estágio fenológico do milho V4 e V6. C- Nota de consumo médio de *S. frugiperda* por tratamento durante o estágio fenológico do milho V8, V10 e V12. D- Número médio de *D. maidis* por tratamento durante o estágio fenológico do milho V8, V10 e V12.

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si. n.s não significativo.

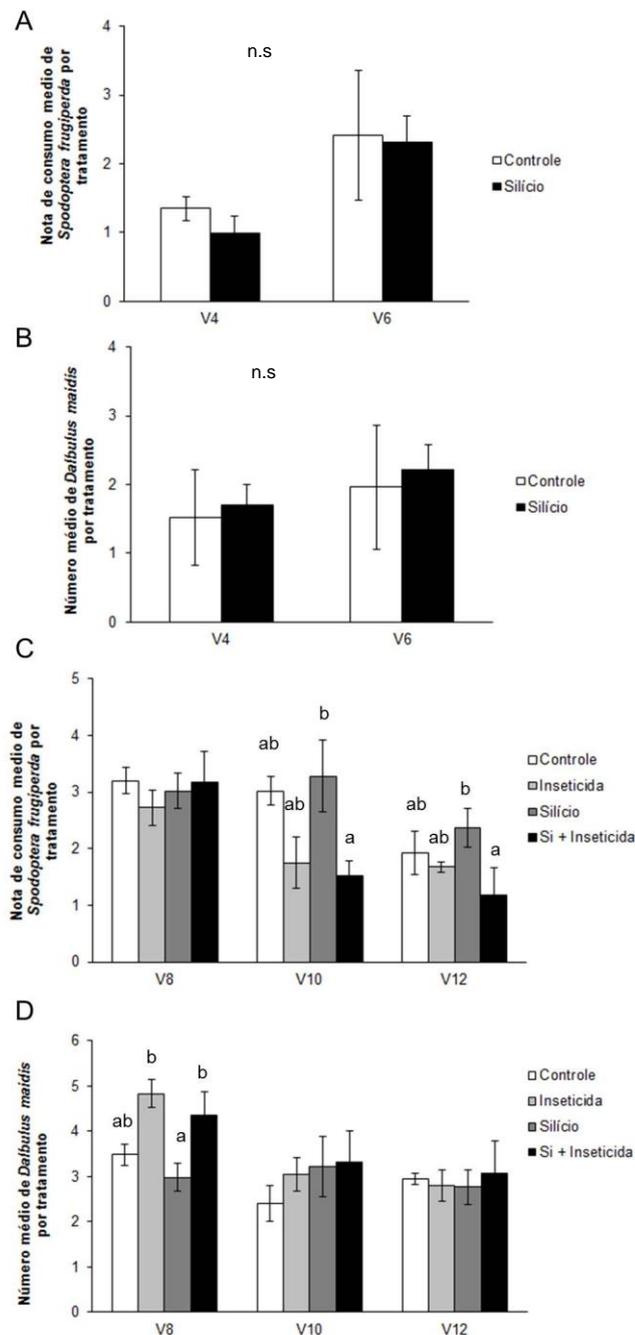


Figura 3- Avaliação da infestação média de *Spodoptera frugiperda* e *Dalbulus maidis* (média \pm erro padrão) em plantas de milho durante o experimento da segunda safra. A- Nota de consumo médio de *S. frugiperda* por tratamento durante o estágio fenológico do milho V4 e V6. B- Número médio de *D. maidis* por tratamento durante o estágio fenológico do milho V4 e V6. C- Nota de consumo médio de *S. frugiperda* por tratamento durante o estágio fenológico do milho V8, V10 e V12. D- Número médio de *D. maidis* por tratamento durante o estágio fenológico do milho V8, V10 e V12.

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si.
n.s não significativo.

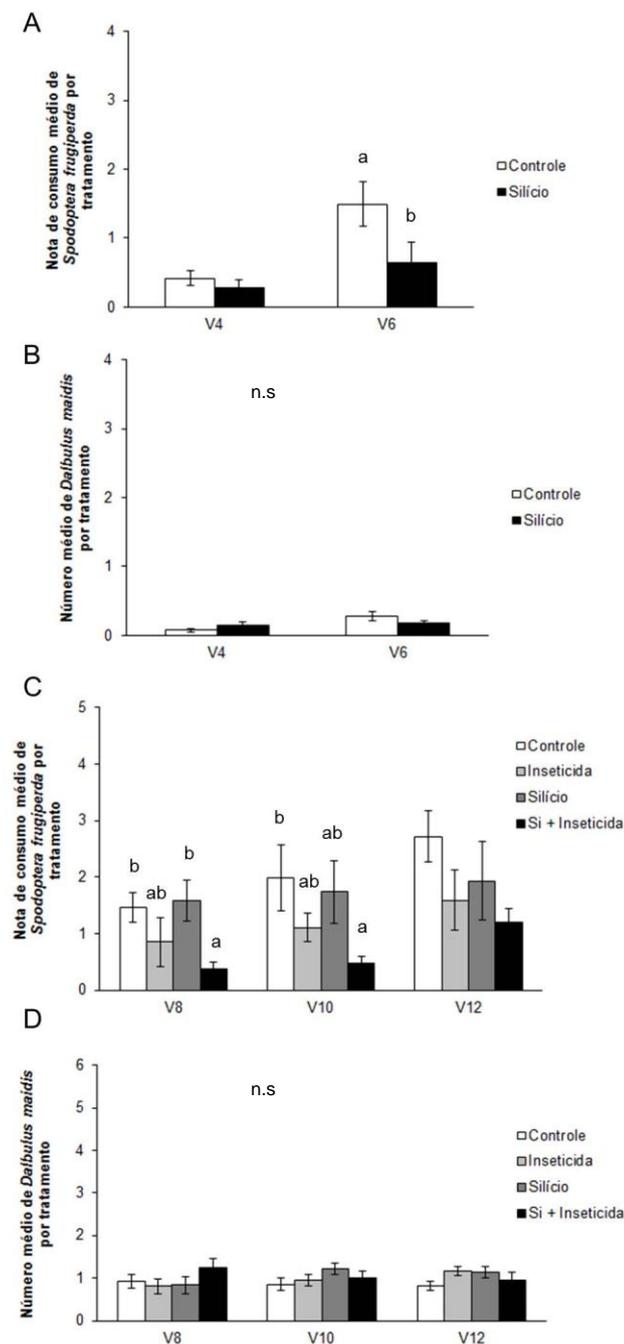
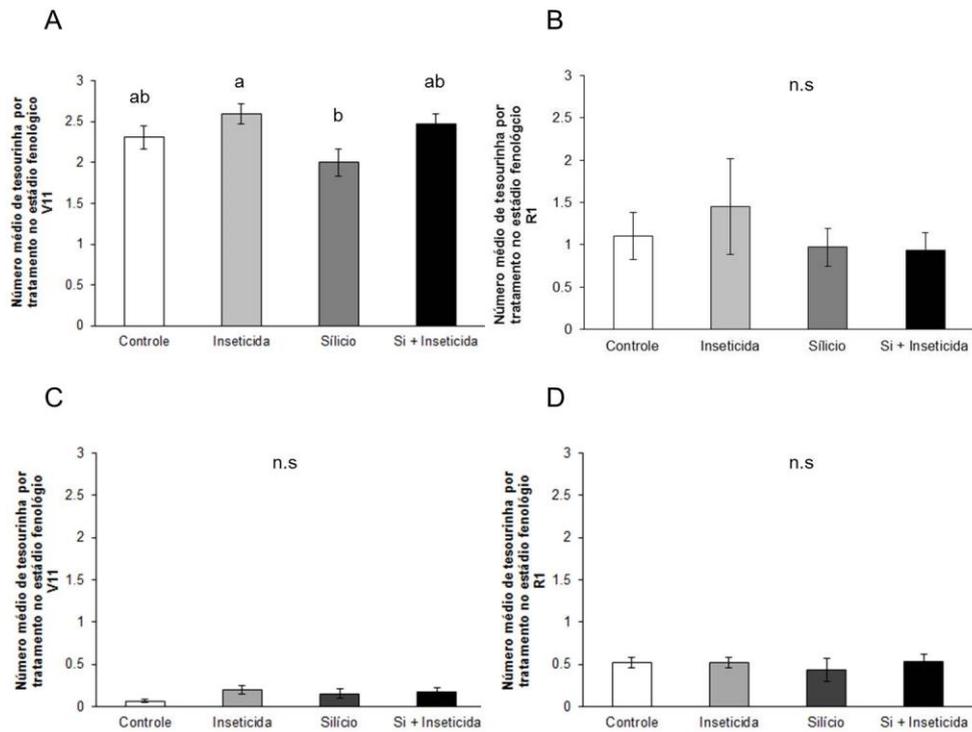


Figura 4- Avaliação do número médio de *Doru luteipes* por tratamento (média \pm erro padrão) durante o estágio fenológico V11 e R1 da cultura do milho durante a primeira (A e B) e segunda safra (C e D).

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si.

n.s não significativo.



Tabelas

Tabela 1- Porcentagem e número médio de plantas com sintomas das doenças transmitidas pelo vetor *Dalbulus maidis* características fitotécnicas e fisiológicas por tratamento (média \pm erro padrão) das plantas de milho no estágio fenológico V11 e R3 (Número de espigas).

Parâmetros	Campo 1					Campo 2				
	Controle	Inseticida	Silício	Si+ Inseticida	P	Controle	Inseticida	Silício	Si+ Inseticida	P
Enfezamento-pálido (%)	36.67 \pm 4.94	35.00 \pm 7.64	61.67 \pm 10.14	35.00 \pm 6.71	0,619	78.33 \pm 9.1	66.67 \pm 7.15	78.33 \pm 5.43	78.33 \pm 7.03	0,563
Enfezamento-vermelho (%)	45 \pm 6.71	55 \pm 6.71	36.67 \pm 7.15	51.67 \pm 9.10	0,167	61.67 \pm 7.03	56.67 \pm 6.67	55 \pm 8.06	56.67 \pm 6.67	0,925
<i>Maize rayado fino virus</i> (%)	96.67 \pm 2.11	98.33 \pm 1.67	98.33 \pm 1.67	95 \pm 3.42	0,659	93.33 \pm 6.67	98.33 \pm 1.67	98.33 \pm 1.67	98.33 \pm 1.67	0,257
Número de espigas	1.38 \pm 0.11	1.28 \pm 0.09	1.53 \pm 0.08	1.45 \pm 0.08	0,367	1.15 \pm 0.1	1.18 \pm 0.09	1.13 \pm 0.07	1.05 \pm 0.03	0,254
Altura (m)	1.73 \pm 0.07	1.68 \pm 0.05	1.66 \pm 0.05	1.65 \pm 0.06	0,740	1.16 \pm 0.02	1.19 \pm 0.03	1.17 \pm 0.04	1.18 \pm 0.02	0,715
Tombamento	23.71 \pm 7.13	11.26 \pm 5.89	12.86 \pm 5.61	12.14 \pm 5.42	0,411	6.96 \pm 1.92	1.93 \pm 0.96	3.54 \pm 1.58	0.95 \pm 0.95	0,050
Clorofila (mg g ⁻¹)	44.81 \pm 2.47	43.67 \pm 2.62	45.85 \pm 2.20	43.43 \pm 1.45	0,665	46.94 \pm 2.09	46.03 \pm 1.85	48.16 \pm 1.7	45.50 \pm 0.93	0,577
Teor relativo de água (%)	62.12 \pm 2.63	59.44 \pm 1.21	58.43 \pm 2.54	64.79 \pm 2.72	0,344	52.80 \pm 2.47	50.30 \pm 2.18	47.37 \pm 1.69	49.72 \pm 2.74	0,308
Extravasamento de eletrólitos (%)	25.59 \pm 1.03	29.57 \pm 1.8	26.06 \pm 1.34	29.55 \pm 1.78	0,095	35.93 \pm 3.27b	35.44 \pm 3.37b	37.72 \pm 2.76ab	50.69 \pm 5.75a	0,008

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em ensaios laboratoriais, nossos resultados mostraram que a fertilização com Si apresenta potencial de ação contra herbívoros em plantas de milho. Insetos sugadores, assim como os mastigadores, podem ser igualmente controlados a partir da aplicação exógena de Si. Mas, como discutimos no primeiro artigo, o mecanismo de ação do Si sobre estas duas guildas alimentares são diferentes. Em insetos sugadores, observamos um *trade-off*, acarretando na menor fecundidade da segunda geração de fêmeas de *Dalbulus maidis*, desenvolvidas em plantas fertilizadas com Si. Logo, para *D. maidis*, a aplicação de Si deve ser realizada visando um controle a longo prazo. Além disso, destacamos a importância de se avaliar os efeitos de indutores de resistência sobre a segunda geração de insetos herbívoros, uma vez que nem sempre seus efeitos são demonstrados de forma clara sobre a biologia e comportamento dos insetos, principalmente em insetos sugadores.

No segundo artigo, vimos que os voláteis noturnos induzidos pela herbivoria de plantas fertilizadas com Si se tornam mais atraentes para o predador *Doru luteipes*, um importante inimigo natural da *Spodoptera frugiperda*, praga-chave da cultura do milho. A maior atratividade do predador por estas plantas se deve a liberação de um composto, presente somente nas emissões de plantas de milho fertilizadas com Si e induzidas pela herbivoria, o terpeno Neril acetato.

No terceiro artigo, realizado em campo, observamos o potencial da fertilização com Si somente no controle de infestações iniciais de *S. frugiperda*. Embora não muito evidente, também notamos um possível efeito sinérgico entre a fertilização com Si e a aplicação do inseticida químico, levando a uma pequena redução na população da lagarta-do-cartucho. Se confirmado em estudos futuros, o sinergismo entre o Si e o inseticida químico pode contribuir para diminuição do uso de inseticidas nas lavouras de milho, possibilitando um manejo mais sustentável da cultura.

Os efeitos observados em laboratório sobre *D. maidis* e o predador *D. luteipes* não foram observados nos ensaios de campo. A população de *D. maidis* não foi afetada de nenhuma forma pela aplicação de Si. Em contrapartida, a população de *D. maidis* foi afetada positivamente pela aplicação do inseticida químico, aumentando o número desses insetos nos tratamentos que receberam sua aplicação. Apesar de não ter sido o foco principal do nosso trabalho, este dado fornece informações importantes sobre o efeito hormético que determinados grupos de inseticidas químicos causam em insetos-praga, podendo levar a surtos populacionais. Da mesma forma, a população de *D. luteipes* não foi atraída pelas plantas

fertilizadas com Si, sendo encontrado maior número de tesourinhas nas plantas tratadas com inseticida químico do que em plantas fertilizadas com Si.

De modo geral, nosso trabalho gera importantes contribuições para o manejo de insetos-praga utilizando o Si como indutor de resistência, além de preencher diversas lacunas que estavam em aberto na literatura. Dessa forma, a fertilização com Si atua na resistência induzida da planta de milho, afetando diretamente a biologia e o comportamento de *D. maidis* da segunda geração, e indiretamente aumentando a atratividade dos voláteis emitidos por plantas de milho fertilizadas com Si para o predador *D. luteipes*. Em campo, a fertilização com Si mostrou eficácia no controle de infestações iniciais da *S. frugiperda*, entretanto para *D. maidis* e o predador *D. luteipes*, nós não observamos efeitos da fertilização com Si sobre a população desses insetos. Contudo, estudos futuros ainda são necessários para se avaliar os reais efeitos da fertilização com Si em ensaios de campo sobre *D. maidis* e *D. luteipes*, visto a potencialidade desta estratégia observada em ensaios laboratoriais, além de investigar isoladamente a atratividade de *D. luteipes* pelo terpeno Neril acetato.