



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

WELLERSON LEITE D E ANDRADE

SILÍCIO EM ALGODOEIRO COMO INDUTOR DE RESISTÊNCIA AOS
LEPIDÓPTEROS-PRAGA *Alabama argillacea* E *Spodoptera frugiperda*

AREIA
2025

WELLERSON LEITE DE ANDRADE

**SILÍCIO EM ALGODOEIRO COMO INDUTOR DE RESISTÊNCIA AOS
LEPIDÓPTEROS-PRAGA *Alabama argillacea* E *Spodoptera frugiperda***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Agronomia”. Área de Concentração: Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. José Bruno Malaquias

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Domingues da Silva

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A553s Andrade, Wellerson Leite de.

Silício em algodoeiro como indutor de resistência aos lepidópteros-praga *Alabama argillacea* e *Spodoptera frugiperda* / Wellerson Leite de Andrade. -

Areia:UFPB/CCA, 2025.

82 f. : il.

Orientação: José Bruno Malaquias.

Coorientação: Carlos Alberto Domingues da Silva.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. *Gossypium hirsutum*. 3. Proteção de plantas. 4. Lagarta desfolhadora. 5. Nutrição de plantas. 6. Controle de pragas. I. Malaquias, José Bruno. II. Silva, Carlos Alberto Domingues da. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.2)

WELLERSON LEITE DE ANDRADE

**TÍTULO: SILÍCIO EM ALGODOEIRO COMO INDUTOR DE RESISTÊNCIA AOS
LEPIDÓPTEROS-PRAGA *Alabama argillacea* E *Spodoptera frugiperda***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Aprovado em: 22 de agosto de 2025

Documento assinado digitalmente
 **JOSE BRUNO MALAQUIAS**
Data: 09/09/2025 14:14:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Bruno Malaquias – UFPB
(Orientador, Presidente)

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS ALBERTO DOMINGUES DA SILVA**
Data: 11/09/2025 08:56:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Alberto Domingues da Silva - EMBRAPA
(Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 **MARIA JOSE ARAUJO WANDERLEY**
Data: 12/09/2025 09:10:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Maria José Araújo Wanderley - UFPB
(Examinadora)

Documento assinado digitalmente
 **ALBERTO SOARES DE MELO**
Data: 12/09/2025 14:08:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alberto Soares de Melo - UEPB
(Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **MANOEL BANDEIRA DE ALBUQUERQUE**
Data: 12/09/2025 18:37:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque - UFPB
(Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **TIAGO CARDOSO DA COSTA LIMA**
Data: 15/09/2025 09:17:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Tiago Cardoso da Costa Lima - EMBRAPA
(Examinador)

Se enxerguei mais longe é porque me apoiei em ombros de gigantes
- Isaac Newton

Aos meus pais, José Alberto Pires de Andrade e Maria da Glória Leite de Andrade, à minha esposa Olga Gonçalves Rodrigues e minhas filhas Ísis Maria Rodrigues de Andrade (In memoriam) e Maria Luísa Rodrigues de Andrade.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar força, saúde, coragem e sabedoria para seguir nessa carreira acadêmica que é sempre árdua.

À minha família, em especial meus pais José Alberto Pires de Andrade e Maria da Glória Leite de Andrade e a minha esposa Olga Gonçalves Rodrigues por terem me incentivado do começo ao fim dessa trajetória. E também a minhas filhas Ísis Maria (*In Memoriam*) e Maria Luísa por serem a razão de tudo que faço e meu apoio emocional.

À Embrapa Algodão por todo apoio técnico, financeiro e estrutural para o total desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço a todos os funcionários da Embrapa Algodão, Pesquisadores, técnicos, seguranças e funcionários de auxílio geral pela ajuda em todo desenvolvimento desse trabalho, em especial ao Dr. Gilvan Barbosa pelo grande apoio na realização e desenvolvimento do projeto, e aos técnicos Airton Belo e Edijane dos Anjos pelo apoio nas atividades de laboratório.

Agradeço aos colegas de laboratório Marília Duarte, Kallyne Andrade e Tardelly Andrade que puderam ajudar nas atividades realizadas durante o desenvolvimento desse trabalho

À Universidade Federal da Paraíba campus II, de Areia, e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia por todo suporte estudantil.

Agradeço aos docentes do Programa de Pós Graduação em Agronomia por todo conhecimento passado e também ao docente Roberto Wagner do programa de Ciências dos Solos.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. José Bruno Malaquias, por todo conhecimento passado e por todo apoio durante o período de formação do meu Doutorado.

Agradeço imensamente ao meu Coorientador Dr. Carlos Alberto Domingues por todo conhecimento passado, todo apoio dado durante minha formação como profissional e no desenvolvimento do projeto de tese.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, que foi fundamental para o desenvolvimento desse trabalho.

ANDRADE, W. L. de. **Silício em algodoeiro como indutor de resistência aos lepidópteros-praga *Alabama argillacea* e *Spodoptera frugiperda***. Areia, Paraíba. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, agosto de 2025. 67 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Orientador: Prof. Dr. José Bruno Malaquias, Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Domingues da Silva.

RESUMO GERAL

O algodoeiro é uma cultura de grande relevância econômica para a indústria têxtil e para a geração de renda no agronegócio brasileiro. No entanto, seu cultivo enfrenta sérios desafios devido ao ataque de pragas, especialmente lagartas como *Alabama argillacea* e *Spodoptera frugiperda*. Esses insetos causam desfolha intensa e danos às estruturas reprodutivas, comprometendo a produtividade e a qualidade da fibra. O manejo dessas pragas exige estratégias integradas, como controle biológico, químico e práticas culturais. A adoção de tecnologias sustentáveis é fundamental para reduzir perdas e preservar a competitividade da cultura. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento, a sobrevivência e a reprodução de *A. argillacea* e *S. frugiperda* em folhas de algodoeiro tratadas com diferentes doses de silício (Si). Para isso, foram conduzidos dois experimentos: o primeiro teve como foco os efeitos do silício sobre os parâmetros biológicos de *A. argillacea*, e o segundo, sobre *S. frugiperda*. Ambos os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no Laboratório de Entomologia da Embrapa Algodão no município de Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três tratamentos, distribuídos em cinco repetições. Os tratamentos consistiram de lagartas de *A. argillacea* ou de *S. frugiperda* alimentadas de folhas de algodoeiro coletadas em plantas sem Si (T1) ou fertilizadas com 150 mg kg⁻¹ (300 kg de Si ha⁻¹) (T2) e 300 mg kg⁻¹ (600 kg de Si ha⁻¹) (T3) de Si aplicados no solo. Algodoeiros adubados com Si, nas doses de 150 e 300 mg kg⁻¹ de solo, acumularam esse nutriente de forma proporcional em suas folhas, reduzindo o desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de *A. argillacea*. Lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas de algodoeiros suplementadas com silício tiveram seu período larval reduzido, com padrão de crescimento irregular e desordenado. Mariposas fêmeas de *S. frugiperda* provenientes de lagartas alimentadas com algodoeiros suplementados com silício tiveram seu período de oviposição, longevidade, número e viabilidade de ovos e de massa de ovos por fêmeas reduzido. O modelo multivariado de machine learning baseado na classificação *k means* aplicado aos parâmetros reprodutivos de *S. frugiperda* revelou a formação de dois grupos bem distintos, sendo um composto apenas pela testemunha e outro pelos tratamentos com 150 e 300 mg Kg⁻¹ de silício. A distância euclidiana entre as doses 150 e 300 mg Kg⁻¹ foi baixa quando comparada à distância da testemunha. Esse resultado sugere que essas doses influenciaram expressivamente nas múltiplas variáveis reprodutivas de *S. frugiperda*. Essas descobertas confirmam que a aplicação de silício via solo interfere, de alguma forma, em fases específicas do ciclo de vida das lagartas, comprometendo seu desenvolvimento. Isso indica que o uso do silício pode ser uma estratégia promissora para o manejo desses lepidópteros-praga.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*; proteção de plantas; lagarta desfolhadora; nutrição de plantas; controle de pragas; manejo integrado de pragas.

ANDRADE, W. L. de. **Silicon in cotton as an inducer of resistance to lepidoptera pests *Alabama argillacea* and *Spodoptera frugiperda***. Areia, Paraíba. Center for Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, August 2025. 67 p. Thesis (Doctorate in Agronomy). Graduate Program in Agronomy. Advisor: Prof. Dr. José Bruno Malaquias, Co-Advisor: Prof. Dr. Carlos Alberto Domingues da Silva.

GENERAL ABSTRACT

Cotton is a crop of great economic importance for the textile industry and for income generation in Brazilian agribusiness. However, its cultivation faces serious challenges due to attacks by insects, especially caterpillars such as *Alabama argillacea* and *Spodoptera frugiperda*. These insects cause intense defoliation and damage to reproductive structures, compromising productivity and fiber quality. Managing these pests requires integrated strategies, such as biological and chemical control, and cultural practices. The adoption of sustainable technologies is essential to reduce losses and preserve crop competitiveness. This study aimed to assess the development, survival, and reproduction of *A. argillacea* and *S. frugiperda* on cotton leaves treated with varying doses of silicon (Si). Two experiments were conducted: the first evaluated the effects of silicon on the biological parameters of *A. argillacea*, while the second focused on *S. frugiperda*. Both experiments were carried out under greenhouse conditions and in the Entomology Laboratory of Embrapa Cotton, located in Campina Grande, Paraíba state, Brazil. The experimental design was a randomized complete block design with three treatments, distributed into five replicates. Treatments consisted of *A. argillacea* or *S. frugiperda* caterpillars feeding on cotton leaves collected from plants without Si (T1) or fertilized with 150 mg kg⁻¹ (300 kg Si ha⁻¹) (T2) and 300 mg kg⁻¹ (600 kg Si ha⁻¹) (T3) of Si applied to the soil. Cotton plants fertilized with Si at doses of 150 and 300 mg kg⁻¹ of soil accumulated this nutrient proportionally in their leaves, reducing the development, survival, and reproduction of *A. argillacea*. *Spodoptera frugiperda* caterpillars fed on silicon-supplemented cotton leaves had a shortened larval period, with an irregular and disordered growth pattern. Female *S. frugiperda* moths hatched from caterpillars fed on silicon-supplemented cotton plants had limited oviposition period, longevity, number of eggs, and predicted egg and egg mass per female. Multivariate analysis of *S. frugiperda*'s reproductive parameters revealed two groups: one composed solely of the control and the other of treatments with 150 and 300 mg kg⁻¹ of silicon. The difference between the 150 and 300 mg kg⁻¹ doses was reduced compared to the control. This result suggests that these doses influenced several reproductive variables of *S. frugiperda*. These findings confirm that soil-based silicon application somehow interferes with specific stages of the caterpillars' life cycle, compromising their development. This indicates that silicon use may be a promising strategy for managing these lepidopteran pests.

Keywords: *Gossypium hirsutum*; plant protection; defoliating caterpillar; plant nutrition; silver control; integrated justice management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	10
2. REFERENCIAL TEORICO	12
2.1 O impacto das lagartas desfolhadoras na cultura do algodão	12
2.2 A lagarta do algodão: efeitos da <i>A. argillacea</i> no algodoeiro.....	14
2.3 A lagarta-do-cartucho: como a <i>S. frugiperda</i> afeta a produção do algodão.....	15
2.4 Controle de insetos através da nutrição de plantas: uma abordagem sustentável	17
2.5 A importância do silício na resistência das plantas às pragas	19
REFERÊNCIAS	21
3. Capítulo I: Desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de <i>Alabama argillacea</i> (Lepidoptera: Noctuidae) em folhas de algodoeiro com diferentes doses de silício.....	27
3.1 RESUMO	27
3.2 ABSTRACT	27
3.3 INTRODUÇÃO.....	28
3.4 MATERIAL E METODOS	29
3.4.1 Local do estudo	29
3.4.2 Insetos, material vegetal e solo	29
3.4.3 Determinação do teor de Si em folhas de algodão.....	29
3.4.4 Bioensaios de biologia	30
3.4.5 Análise de dados	32
3.5 RESULTADOS	32
3.6 DISCUSSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	40
4. Capítulo II: Desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae) em folhas de algodoeiro com diferentes doses de silício.....	49
4.1 RESUMO	49
4.2 ABSTRACT	49
4.3 INTRODUÇÃO.....	50
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	52
4.4.1 Local do estudo	52
4.4.2 Insetos, material vegetal e solo	52
4.4.3 Bioensaios de biologia	52
4.4.4 Determinação do teor de silício nas folhas do algodoeiro.....	54
4.4.5 Análise dos dados.....	55
4.5 RESULTADOS	56

4.6 DISCUSSÃO.....	58
4.7 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS.....	62
5. CONCLUSÕES GERAIS	72
REFERÊNCIAS	73

1. INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) desempenha um papel significativo na economia e no agronegócio brasileiro, tanto pela geração de renda e emprego, quanto pela produção de fibras naturais de alta qualidade (Klein; Vidal-Luna, 2025). O cultivo do algodão emprega milhares de pessoas diretamente, desde a produção no campo até a indústria têxtil, além de movimentar outros setores como o de transporte e logística (Freire et al., 2015).

A despeito de sua relevante importância, o manejo integrado de pragas dessa cultura enfrenta enormes desafios fitossanitários provocados, principalmente por lepidópteros-praga. A lagarta desfolhadora do algodoeiro *Alabama argillacea* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae), caracteriza-se por sua intensa voracidade e elevada taxa reprodutiva, pode alcançar populações numerosas, ocasionando significativa redução da área foliar, o que compromete a fotossíntese e a produtividade da cultura (Ramalho et al., 2014; Ramalho et al., 2017; Santos et al., 2021; Sharma et al., 2022).

Spodoptera frugiperda (Smith, 1792) (Lepidoptera: Noctuidae), vulgarmente conhecida por lagarta-militar, constitui uma das principais pragas da agricultura brasileira devido ao seu hábito polífago, alta fecundidade e notável capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais. Essa espécie tem causado expressivos danos a diversas culturas agrícolas, incluindo o algodão, favorecida por sua ampla distribuição e grande mobilidade, o que contribui para infestações frequentes e torna seu controle mais difícil (Burtet et al., 2017; Montezano et al., 2018; Akhtar et al., 2023).

O controle de *A. argillacea* e *S. frugiperda* no algodoeiro é dificultado pela sua capacidade adaptativa e danos causados em diferentes estágios da cultura e sistemas de cultivo agrícola. Embora o uso de cultivares Bt tenha reduzido a incidência de *A. argillacea*, falhas nesse método, aliadas ao cultivo orgânico e agroecológico, favorecem o aumento populacional e exigem

alternativas adicionais de manejo, como a resistência induzida pelo silício (Nascimento et al., 2011; Santos et al., 2021; Perdomo et al., 2022).

Por sua vez, o hábito polífago de *S. frugiperda* permite que a praga permaneça ativa durante todo o ano, migrando entre culturas e dificultando estratégias de controle. Essa espécie, além de atacar diferentes partes do algodoeiro, apresenta resistência crescente a inseticidas e proteínas Bt, o que compromete a eficácia do manejo químico e biotecnológico (Malaquias et al., 2021). Soma-se a isso o cultivo extensivo, a sobreposição de safras e a proximidade com outras plantas hospedeiras, fatores que intensificam reinfestações (Kumar; Bhandari, 2022). Diante desse cenário, torna-se essencial desenvolver métodos inovadores e sustentáveis, como a suplementação com silício integrada ao manejo cultural, para garantir maior eficiência no controle dessas pragas (Ahmad et al., 2024).

O silício (Si) atua como um elemento benéfico para as plantas, fortalecendo suas defesas estruturais e bioquímicas. Esse micronutriente promove o espessamento das paredes celulares, tornando as folhas mais rígidas e menos atrativas para a alimentação de insetos-praga, além de induzir a produção de compostos fenólicos e flavonoides com ação tóxica ou repelente (Hall et al., 2020; Perdomo et al., 2022; Islam et al., 2023). Dessa forma, o silício reduz significativamente o consumo foliar, a taxa de desenvolvimento das pragas e os danos ocasionados, diminuindo também a dependência de pesticidas químicos, o que contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis (Perdomo et al., 2022).

Estudos conduzidos com silício aplicados, geralmente, via foliar indicam que esse elemento é eficiente no manejo de diversas espécies de lepidópteros-praga. A aplicação foliar de Si, por exemplo, reduziu o período larval, o peso de pupas e aumentou a duração dessa fase em *A. argillacea*, indicando menor vigor e maior mortalidade (Tomquelski; Martins, 2007). No caso de *S. frugiperda*, a aplicação, tanto foliar como via solo, têm-se mostrado promissora. No entanto, o silício aplicado via solo, ao ser absorvido pelas raízes das plantas é translocado e

depositado nos tecidos sob a forma de dióxido de silício (SiO_2), reforçando as barreiras físicas e ativando defesas químicas contra o ataque da praga (Haq et al., 2021; Islam et al., 2025). Esse modo de aplicação de silício, embora pouco explorado, pode oferecer proteção contínua e integrada, tornando-se essencial para o manejo sustentável dessas lagartas no algodoeiro (Silva et al., 2010; Rizwan et al., 2021; Haq et al., 2023).

A hipótese geral testada neste estudo é que os níveis de silício nas folhas do algodoeiro, resultantes da aplicação no solo, afetam o desenvolvimento e a reprodução de *A. argillacea* e *S. frugiperda*. O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar variáveis biométricas, tais como o desenvolvimento, a sobrevivência e a reprodução de *A. argillacea* e *S. frugiperda*, alimentadas com folhas de algodoeiro cultivadas com diferentes doses de Si aplicadas ao solo.

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1 O impacto das lagartas desfolhadoras na cultura do algodão

A produção de algodão enfrenta desafios significativos devido ao ataque de diversas pragas de insetos que podem comprometer a produtividade e a qualidade da fibra (Rajendran et al., 2018). Entre as pragas mais comuns estão pulgões, moscas-brancas, tripses, bicudos, percevejos e diversas espécies de lagartas (Rajendran et al., 2018; Chi et al., 2021). Esses insetos afetam as plantas de algodão em diferentes estágios de crescimento, alimentando-se de folhas, caules ou estruturas reprodutivas, o que pode levar à desfolha, redução da capacidade fotossintética e danos aos capulhos (Sharma et al., 2022). Além da alimentação direta, muitas pragas atuam como vetores de fitopatógenos, intensificando ainda mais as perdas nas lavouras (Zhang et al., 2022). A alta suscetibilidade do algodão a essas pragas exige monitoramento constante e estratégias integradas de manejo de pragas para evitar prejuízos econômicos (Wilson et al., 2018; Chi et al., 2021).

Entre essas pragas, as lagartas desfolhadoras se destacam como um dos grupos mais destrutivos, principalmente devido à sua capacidade de consumir grandes quantidades de tecido foliar em um curto período (Ramalho et al., 2017). Esses insetos incluem espécies como *S. frugiperda* e *A. argillacea*, que podem consumir completamente as folhas das plantas se não forem controladas (Santos et al., 2021; Akhtar et al., 2023). A redução da folhagem diminui drasticamente a capacidade da planta de realizar fotossíntese, enfraquecendo seu desenvolvimento e atrasando potencialmente o ciclo da cultura (Welter et al., 2019). Infestações intensas ocorrem frequentemente em condições quentes e úmidas, o que favorece a proliferação de lagartas, tornando os fatores climáticos um componente importante na previsão de surtos (Ramalho et al., 2017).

O impacto econômico da desfolha provocadas por lagartas é severo, pois a desfolha durante os estágios inicial e intermediário do crescimento da cultura reduz as reservas de energia e compromete a formação de capulhos (Rajendran et al., 2018; Schirmer et al., 2023). Além disso, essas pragas demonstraram adaptabilidade a medidas de controle, incluindo resistência a alguns inseticidas, o que complica os programas de manejo (Malaquias et al., 2021). Essa adaptabilidade requer a adoção de abordagens integradas que combinem práticas culturais, controle biológico e o uso criterioso de produtos químicos para minimizar o desenvolvimento de resistência (Kumar; Bhandari, 2022). A falha no controle dessas pragas em tempo hábil frequentemente resulta em reduções significativas na produtividade e perdas financeiras para os produtores (Ramos et al., 2022).

Entre as espécies mais importantes, a *A. argillacea*, conhecida como lagarta-do-algodoeiro, e a *S. frugiperda*, comumente chamada de lagarta-do-cartucho, representam grandes ameaças (Ramalho et al., 2014; Burtet et al., 2017). *A. argillacea* tem sido associada há muito tempo à desfolha do algodão em regiões tropicais e subtropicais, enquanto *S. frugiperda*, uma praga polífaga, capaz de expandir sua área de distribuição e se adaptar a diferentes culturas, incluindo

o algodão (Santos et al., 2021; Ramos et al., 2022). Ambas as espécies apresentam alta capacidade alimentar e rápido crescimento populacional, o que as torna pragas formidáveis. Sua persistência destaca a importância do manejo integrado de pragas e da pesquisa contínua por alternativas sustentáveis ao controle químico, garantindo a estabilidade dos sistemas de produção de algodão (Perdomo et al., 2022; Ahmad et al., 2024).

2.2 A lagarta do algodão: efeitos da *A. argillacea* no algodoeiro

A *A. argillacea*, conhecida como curuquerê-do-algodoeiro, é uma praga lepidóptera que desempenha um papel importante na desfolha do algodão em regiões tropicais e subtropicais (Ramalho et al., 2017; Santos et al., 2021). Seus danos estão principalmente associados à fase larval, durante a qual o inseto se alimenta agressivamente das folhas, reduzindo a área fotossintética da planta (Sharma et al., 2022). Essa redução limita a capacidade da planta de sintetizar energia para o desenvolvimento do capulho e a formação de fibras (Rajendran et al., 2018). Sob infestação severa, a cultura pode sofrer desfolha quase completa, levando a um atraso na maturação, tamanho menor do capulho e perdas significativas na produtividade (Sharma et al., 2022). A praga também pode aumentar o estresse da planta, tornando o algodão mais vulnerável a pragas e doenças secundárias.

O ciclo de vida da *A. argillacea* consiste em quatro fases: ovo, larva, pupa e adulto (Orozco, 2021). As fêmeas normalmente depositam grupos de ovos na superfície inferior das folhas do algodão, onde as condições são favoráveis à eclosão (Nascimento et al., 2011; Orozco, 2021). Após alguns dias, as larvas emergem e começam a se alimentar imediatamente (Nascimento et al., 2011). Esta é a fase mais prejudicial, pois as larvas consomem grandes quantidades de folhagem para sustentar seu rápido crescimento ao longo de vários instares (Nascimento et al., 2011; Ramalho et al., 2017). Ao completarem o desenvolvimento, elas se transformam em pupas no solo ou em restos vegetais próximos à cultura. Finalmente, os adultos emergem como mariposas, capazes de se dispersar por longas distâncias em busca de novos campos de algodão

para a postura (Nascimento et al., 2011; Rodrigues et al., 2015). Em condições ideais, esse ciclo pode ser concluído em poucas semanas, permitindo múltiplas gerações em uma única estação de cultivo (Ramalho et al., 2017).

Em termos comportamentais, *A. argillacea* exibe alta atividade alimentar durante a fase larval, frequentemente iniciando nas bordas das folhas antes de consumir lâminas foliares inteiras (Ramalho et al., 2017; Santos et al., 2021). A praga prefere folhas jovens e tenras, mas pode se alimentar de folhagens mais velhas se as populações forem altas (Gonçalves et al., 2015). As larvas são geralmente ativas durante o dia e a noite, o que as torna difíceis de controlar apenas com práticas culturais (Orozco, 2021). Os adultos voam muito bem e têm hábitos noturnos, utilizando condições quentes e úmidas para migrar e colonizar outras áreas de cultivo de algodão, o que contribui para surtos repentinos (Ramalho et al., 2014).

O manejo eficaz de *A. argillacea* requer estratégias integradas que combinem medidas culturais, biológicas e químicas (Perdomo et al., 2022). O monitoramento regular em campo é essencial para a detecção precoce, enquanto inimigos naturais, como vespas parasitoides e insetos predadores, desempenham um papel na supressão populacional (Sujii et al., 2022). Inseticidas químicos são comumente usados durante infestações severas, mas a dependência deles pode levar à resistência. Portanto, abordagens sustentáveis, como rotação de culturas, destruição de resíduos vegetais e o uso potencial de variedades de algodão resistentes, são cruciais para reduzir o impacto econômico dessa praga (Ahmad et al., 2020).

2.3 A lagarta-do-cartucho: como a *S. frugiperda* afeta a produção do algodão

A *S. frugiperda*, comumente conhecida como lagarta-do-cartucho, é uma praga lepidóptera polífaga que se tornou uma grande ameaça ao cultivo do algodão em todo o mundo (Burtet et al., 2017). Originalmente nativa das Américas, essa espécie demonstrou notável adaptabilidade, permitindo sua disseminação por vários continentes e colonização de inúmeras culturas, incluindo o algodão (Akhtar et al., 2023). Em plantações de algodão, *S. frugiperda* ataca

principalmente as folhas, mas também pode se alimentar de caules tenros e, em infestações severas, danificar botões florais e capulhos (Schirmer et al., 2023). Sua alta mobilidade e capacidade de se alimentar de múltiplos hospedeiros tornam seu manejo particularmente difícil, levando a perdas econômicas significativas quando medidas de controle não são implementadas prontamente (Ramos et al., 2022; Li et al., 2023).

O ciclo de vida de *S. frugiperda* inclui os estágios de ovo, larva, pupa e adulto, sendo a fase larval a mais destrutiva (Chen et al., 2022). As fêmeas depositam grupos de ovos cobertos por escamas protetoras na superfície superior ou inferior das folhas e, ao eclodirem, as larvas exibem comportamento alimentar gregário nos primeiros instares (Lü et al., 2023). À medida que crescem, dispersam-se e tornam-se solitárias, consumindo grandes áreas de folhagem (Chen et al., 2022; Lü et al., 2023). A desfolha severa reduz o potencial fotossintético da planta, comprometendo o crescimento e a formação de capulhos (Ramos et al., 2022; Schirmer et al., 2023). Sob infestação intensa, a praga pode desfolhar completamente as plantas, causando atrasos no desenvolvimento e redução significativa da produtividade (Kumar; Bhandari, 2022).

O comportamento da *S. frugiperda* é altamente agressivo e resiliente. As larvas são mais ativas ao amanhecer e ao anoitecer, buscando abrigo na copa da planta durante o dia, o que torna o controle químico mais desafiador (Bentivenha et al., 2017; Li et al., 2023). A espécie também demonstra forte capacidade migratória, permitindo-lhe colonizar rapidamente novas áreas (Shi et al., 2021). Além disso, a praga é notória por desenvolver resistência a várias classes de inseticidas, além de apresentar suscetibilidade reduzida a algumas toxinas Bt usadas em variedades transgênicas de algodão (Malaquias et al., 2021). Essa adaptabilidade aumenta a complexidade das estratégias de manejo e ressalta a importância do manejo integrado de pragas (MIP) (Kumar; Bhandari, 2022; Ahmad et al., 2024).

Para mitigar os danos causados por *S. frugiperda*, estratégias de controle eficazes devem incluir uma combinação de monitoramento, práticas culturais, controle biológico e uso

criterioso de inseticidas (Paredes-Sánchez et al., 2021; Abbas et al., 2022). A detecção precoce é fundamental para prevenir surtos populacionais, enquanto inimigos naturais como parasitoides, predadores e fungos entomopatogênicos podem fornecer supressão biológica valiosa (Abbas et al., 2022). A adoção de variedades de algodão resistentes e a rotação de culturas também desempenham um papel importante na redução da pressão de pragas (Sorgatto et al., 2015; Kumar et al., 2022). Apesar desses esforços, a praga continua sendo um desafio persistente devido à sua alta taxa reprodutiva, polifagia e adaptabilidade, tornando-a um alvo importante para pesquisas contínuas e tecnologias inovadoras de controle (Kumar; Bhandari, 2022; Ahmad et al., 2024).

2.4 Controle de insetos através da nutrição de plantas: uma abordagem sustentável

A teoria da trofobiose, afirma que os surtos de pragas estão intimamente relacionados a desequilíbrios nutricionais nas plantas (Chaboussou, 2006). De acordo com essa teoria, quando as plantas acumulam compostos solúveis em excesso, como aminoácidos livres e açúcares — frequentemente como resultado de fertilização excessiva com nitrogênio ou estresse causado por pesticidas —, elas se tornam mais atraentes e suscetíveis ao ataque de insetos (Chaboussou, 2006; Constant, 2015). Esses compostos servem como nutrientes prontamente disponíveis para insetos herbívoros, promovendo sua alimentação, sobrevivência e reprodução. Em contraste, plantas bem nutridas, com metabolismo equilibrado e síntese proteica eficiente, apresentam concentrações mais baixas desses compostos solúveis, tornando-as menos favoráveis às pragas (Constant, 2015; Klimes et al., 2018). Esse princípio destaca o papel fundamental da nutrição na saúde das plantas e sua influência na dinâmica das pragas.

Garantir uma boa nutrição é, portanto, uma estratégia crucial para o controle de insetos, pois reforça as defesas estruturais e bioquímicas das plantas (Bala et al., 2018). Níveis adequados de potássio, por exemplo, aumentam a resistência da parede celular, a regulação hídrica e a ativação enzimática, contribuindo para uma maior resiliência contra a alimentação

por insetos (Bala et al., 2018; Sardans; Peñuelas, 2021). O cálcio e o magnésio também desempenham papéis estruturais, aumentando a rigidez dos tecidos vegetais e reduzindo a palatabilidade (Hua et al., 2015; Bala et al., 2018). Micronutrientes como manganês e boro são essenciais para a síntese de lignina e compostos fenólicos, que atuam como barreiras químicas que detêm herbívoros (Nadeem et al., 2018; Chávez-Dulanto et al., 2018). A fertilização balanceada com nitrogênio é particularmente importante; embora o nitrogênio seja vital para o crescimento das plantas, quantidades excessivas levam ao acúmulo de compostos nitrogenados solúveis nos tecidos, favorecendo o surgimento de pragas (Rashid et al., 2016; Bala et al., 2018; Li et al., 2021). Portanto, um suprimento equilibrado de macro e micronutrientes não apenas otimiza o crescimento das plantas, mas também cria um ambiente desfavorável para pragas (Bala et al., 2018).

A nutrição adequada melhora as vias metabólicas associadas à defesa das plantas, onde, plantas bem nutridas produzem níveis mais elevados de enzimas defensivas, como peroxidase (POX), polifenol oxidase (PPO) e fenilalanina amônia-liase (PAL), que participam da síntese de fenólicos, taninos e outros compostos que reduzem a eficiência alimentar dos insetos (Verma et al., 2015). Esses compostos diminuem a digestibilidade dos tecidos e inibem o desenvolvimento larval, reduzindo as taxas de sobrevivência das pragas (Han et al., 2015; Reynolds et al., 2016). Além disso, um bom estado nutricional favorece a sobrevivência de organismos benéficos do solo e inimigos naturais de pragas, fortalecendo ainda mais as estratégias de manejo integrado de pragas (Martínez et al., 2025). Assim, manter um programa nutricional equilibrado não é apenas uma prática agrônômica, mas também uma medida preventiva contra surtos de pragas (Bala et al., 2018).

Entre os elementos benéficos que contribuem para a resistência a pragas, o silício tem ganhado atenção especial por seu duplo papel na defesa mecânica e bioquímica (Reynolds et al., 2016; Acevedo et al., 2021). Embora não seja classificado como um nutriente essencial, o

silício se acumula nos tecidos vegetais, formando uma camada de sílica nas paredes celulares que aumenta a rigidez e a abrasividade, tornando o tecido foliar mais difícil de ser consumido por insetos mastigadores, tendo assim elevada importância em programas de fertilização para uma estratégia eficaz no manejo sustentável de pragas (Reynolds et al., 2016; Islam et al., 2023).

2.5 A importância do silício na resistência das plantas às pragas

O silício vem sendo considerado um elemento importante nas estratégias de manejo integrado de pragas devido à sua capacidade de aumentar a resistência das plantas contra ataques de insetos (Hall et al., 2020). Embora não seja considerado um nutriente essencial, o silício desempenha um papel significativo na defesa das plantas, atuando por meio de mecanismos físicos e bioquímicos (Alhousari; Greger, 2018; Islam et al., 2023). Sua importância reside na capacidade de fortalecer os tecidos vegetais, reduzindo a eficiência alimentar das pragas e os danos gerais, o que se traduz em maior produtividade e sustentabilidade das culturas (Perdomo et al., 2022).

O principal mecanismo pelo qual o silício confere resistência é seu acúmulo nos tecidos vegetais, particularmente nas paredes celulares, onde forma uma camada de sílica que aumenta a rigidez e a abrasividade (Alhousari; Greger, 2018; Thabet et al., 2021). Essa barreira física torna os tecidos foliares mais difíceis de mastigar, desgastando as mandíbulas dos insetos, reduzindo sua capacidade alimentar (Cáceres et al., 2019). Além do papel estrutural, o Si também estimula a produção de metabólitos secundários e enzimas relacionadas à defesa, incluindo compostos fenólicos, fitoalexinas e peroxidases (Hall et al., 2020; Perdomo et al., 2022; Islam et al., 2023). Essas respostas bioquímicas criam um ambiente desfavorável para as pragas, afetando seu crescimento, reprodução e sobrevivência (Alhousari; Greger, 2018).

Estudos científicos demonstraram a eficácia do Si na redução de infestações de pragas em diversas culturas. Por exemplo, aplicações de Si em arroz, cana-de-açúcar e algodão têm sido associadas à redução das taxas de sobrevivência e desenvolvimento de pragas-chave, como *S.*

frugiperda e *A. argillacea* (Tomquelski; Martins, 2007; Han et al., 2018; Santos-Cividanes et al., 2022; Zimba et al., 2022). Além disso, o Si promove mudanças estruturais, como aumento da densidade de tricomas e espessamento das camadas epidérmicas, o que inibe ainda mais a herbivoria (Hall et al., 2020). Esses benefícios vão além do controle de pragas, pois a aplicação de Si também melhora a saúde geral da planta, a tolerância a estresses abióticos e a eficiência no uso de nutrientes (Ranjan et al., 2021; Hassan et al., 2024).

A incorporação de silício em programas de fertilização e manejo de culturas representa uma abordagem sustentável e ecologicamente correta para o manejo de pragas (Hassan et al., 2024; Rizwan et al., 2021; Haq et al., 2023). Ao reduzir a dependência de inseticidas químicos, o Si contribui para estratégias de manejo integrado de pragas, reduzindo os custos de produção e minimizando os impactos ambientais (Ismail et al., 2024; Putra et al., 2024). Portanto, o Si não é apenas um elemento benéfico para o aumento da resistência das plantas, mas também uma ferramenta valiosa para o avanço da agricultura sustentável (Pereira et al., 2021).

REFERÊNCIAS

- ABBAS, A.; ULLAH, F.; HAFEEZ, M.; HAN, X.; DARA, M. Z. N.; GUL, H.; ZHAO, C. R. Biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2704, 2022.
- ACEVEDO, F. E.; PEIFFER, M.; RAY, S.; TAN, C. W.; FELTON, G. W. Silicon-mediated enhancement of herbivore resistance in agricultural crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 631824, 2021.
- AHMAD, M.; MUHAMMAD, W.; SAJJAD, A. Ecological management of cotton insect pests. In: *Cotton Production and Uses: Agronomy, Crop Protection, and Postharvest Technologies*. Singapore: **Springer Singapore**, 2020. p. 213-238.
- AHMAD, W.; COFFMAN, L.; WEERASOORIYA, A. D.; CRAWFORD, K.; KHAN, A. The silicon regulates microbiome diversity and plant defenses during cold stress in *Glycine max* L. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1280251, 2024.
- AKHTAR, S.; FAROOQ, F.; IFTIKHAR, R.; DIN, N.; ASHRAF, M.; ZAHID, A. Population fluctuations of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and physiomorphic characterization of maize varieties cultivated under field conditions in Punjab-Pakistan. **Pakistan Journal of Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 356-364, 2023.
- ALHOUSARI, F.; GREGER, M. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 33, 2018.
- BALA, K.; SOOD, A. K.; PATHANIA, V. S.; THAKUR, S. Effect of plant nutrition in insect pest management: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 4, p. 2737-2742, 2018.
- BENTIVENHA, J. P.; MONTEZANO, D. G.; HUNT, T. E.; BALDIN, E. L.; PETERSON, J. A.; VICTOR, V. S.; PANUTI, L. E. R.; VÉLEZ, A. M.; PAULA-MORAES, S. V. Intraguild interactions and behavior of *Spodoptera frugiperda* and *Helicoverpa* spp. on maize. **Pest Management Science**, v. 73, n. 11, p. 2244-2251, 2017.
- BURTET, L. M.; BERNARDI, O.; MELO, A. A.; PES, M. P.; STRAHL, T. T.; GUEDES, J. V. Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in southern Brazil. **Pest Management Science**, v. 73, n. 12, p. 2569-2577, 2017.
- CÁCERES, M.; VASSENA, C. V.; GARCERÁ, M. D.; SANTO-ORIHUELA, P. L. Silica nanoparticles for insect pest control. **Current Pharmaceutical Design**, v. 25, n. 37, p. 4030-4038, 2019.
- CHABOUSSOU, F. *Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose*. São Paulo: Expressão Popular, 2006. 320 p.
- CHÁVEZ-DULANTO, P. N.; REY, B.; UBILLÚS, C.; RÁZURI, V.; BAZÁN, R.; SARMIENTO, J. Foliar application of macro- and micronutrients for pest-mites control in citrus crops. **Food and Energy Security**, v. 7, n. 2, p. e00132, 2018.

- CHEN, Y. C.; CHEN, D. F.; YANG, M. F.; LIU, J. F. The effect of temperatures and hosts on the life cycle of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Insects**, v. 13, n. 2, p. 211, 2022.
- CHI, Bao-jie; ZHANG, Dong-mei; DONG, He-zhong. Control of cotton pests and diseases by intercropping: a review. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 12, p. 3089-3100, 2021.
- CONSTANT, J. Review of the effusus group of the lanternfly genus *Pyrops* Spinola, 1839, with one new species and notes on trophobiosis (Hemiptera: Fulgoromorpha: Fulgoridae). **European Journal of Taxonomy**, n. 128, 2015.
- FREIRE, E. C.; MORELLO, C. L.; FARIAS, F. J. C.; PEDROSA, M. B.; SILVA FILHO, J. L. Melhoramento do Algodoeiro: Cultivares Convencionais e Transgênicas para o Cerrado. In: FREIRE, E. C. (Ed.). *Algodão no cerrado do Brasil*. 3. ed. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão – ABRAPA, 2015. v. 1, cap. 6, p. 151-201.
- FUNDERBURK, J. E.; RHOADS, F. M.; TEARE, I. D. Modifying soil nutrient level affects soybean insect predators. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 3, p. 581-585, 1994.
- GONÇALVES, S. G.; SILVA, C. A. D. D.; DUARTE, M. D. M. F.; VASCONCELOS, E. D. Oviposição do curuquerê e alimentação de suas lagartas neonatas em algodoeiros tratados com caulim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 526-533, 2015.
- HAQ, I. U.; IDREES, A.; ABBASI, A.; ALI, S.; ASAD, M.; LI, C.; LIU, C.-Z.; ZHANG, K.-X.; YASIN, M.; ASGHAR, M. A.; IQBAL, J. Silicon accumulation in maize and its effects on demographical traits of fall armyworm, [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)]. **Silicon**, v. 15, n. 7, p. 3269-3281, 2023.
- HAQ, I. U.; KHURSHID, A.; INAYAT, R.; ZHANG, K.; LIU, C.; ALI, S.; ZUAN, A. T. K.; AL-HASHIMI, A.; ABBASI, A. M. Silicon-based induced resistance in maize against fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)]. **PLoS One**, v. 16, n. 11, p. e0259749, 2021.
- HALL, C. R.; DAGG, V.; WATERMAN, J. M.; JOHNSON, S. N. Silicon alters leaf surface morphology and suppresses insect herbivory in a model grass species. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 643, 2020.
- HAN, Y.; LEI, W.; WEN, L.; HOU, M. Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **PloS One**, v. 10, n. 4, p. e0120557, 2015.
- HAN, Yong-qiang; WEN, Ji-hui; PENG, Zhao-pu; ZHANG, De-yong; HOU, Mao-lin. Effects of silicon amendment on the occurrence of rice insect pests and diseases in a field test. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 10, p. 2172-2181, 2018.
- HASSAN, K. M. et al. Silicon: a powerful aid for medicinal and aromatic plants against abiotic and biotic stresses for sustainable agriculture. **Horticulturae**, v. 10, n. 8, p. 806, 2024.
- HUA, K. H.; WANG, H. C.; CHUNG, R. S.; HSU, J. C. Calcium carbonate nanoparticles can enhance plant nutrition and insect pest tolerance. **Journal of Pesticide Science**, v. 40, n. 4, p. 208-213, 2015.

ISLAM, T.; MOORE, B. D.; JOHNSON, S. N. Silicon fertilization affects morphological and immune defences of an insect pest and enhances plant compensatory growth. **Journal of Pest Science**, v. 96, n. 1, p. 41-53, 2023.

ISMAIL, Manal S. M.; ABDALLAH, Asmaa M.; ABOGHALIA, Ahmed H. Silicon as a plant defense inducer against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Trombidiformes: Tetranychidae) invasion on strawberry. **International Journal of Pest Management**, v. 70, n. 4, p. 1413-1422, 2024.

KLEIN, H.; VIDAL, F. The complex evolution of Brazilian cotton production. **América Latina en la Historia Económica**, v. 30, n. 2, p. 1-35, 2023.

KLIMES, P.; BOROVANSKA, M.; PLOWMAN, N. S.; LEPONCE, M. How common is trophobiosis with hoppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha) inside ant nests (Hymenoptera: Formicidae)? Novel interactions from New Guinea and a worldwide overview. **Myrmecological News**, v. 26, n. 1, p. 31-45, 2018.

KUMAR, S.; BHANDARI, D. Silicon: as a potential source to pests management. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 42, n. 5, p. 3221-3234, 2022.

KUMAR, R. M.; GADRATAGI, B. G.; PARAMESH, V.; KUMAR, P.; MADIVALAR, Y.; NARAYANAPPA, N.; ULLAH, F. Sustainable management of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Agronomy**, v. 12, n. 9, p. 2150, 2022.

LI, Y. P.; YAO, S. Y.; FENG, D.; HAACK, R. A.; YANG, Y.; HOU, J. L.; YE, H. Dispersal behavior characters of *Spodoptera frugiperda* larvae. **Insects**, v. 14, n. 6, p. 488, 2023.

LÜ, D.; DONG, Y.; YAN, Z.; LIU, X.; ZHANG, Y.; YANG, D.; HE, K.; WANG, Z.; WANG, P.; YUAN, X.; LI, Y. Dynamics of gut microflora across the life cycle of *Spodoptera frugiperda* and its effects on the feeding and growth of larvae. **Pest Management Science**, v. 79, n. 1, p. 173-182, 2023.

MALAGUIAS, J. B.; GODOY, W. A. C.; CAPRIO, M. A.; PACHU, J. K. D. S.; DE SOUSA RAMALHO, F.; OMOTO, C.; FERREIRA, C. P. Evolutionary process modeling with Bayesian inference of *Spodoptera frugiperda* ballooning and walking dispersal in Bt and non-Bt cotton plant mixtures. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 169, n. 8, p. 721-731, 2021.

MARTÍNEZ, L. C.; PANCHUK, J.; HAEDO, J. P.; POMPOZZI, G.; PÉREZ-MÉNDEZ, N.; FIORONI, F.; GARIBALDI, L. A.; MARRERO, H. J. Effects of soil nutrient enrichment on trophic interactions between herbivorous insects and foliage spiders in Patagonian forests. **Oecologia**, v. 207, n. 5, p. 1-12, 2025.

MONTEZANO, D. G.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; SPECHT, A.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 286-300, 2018.

NADEEM, F.; HANIF, M. A.; MAJEED, M. I.; MUSHTAQ, Z. Role of macronutrients and micronutrients in the growth and development of plants and prevention of deleterious plant diseases – a comprehensive review. **International Journal of Chemical and Biochemical Sciences**, v. 13, p. 31-52, 2018.

NASCIMENTO, A. R. B.; RAMALHO, F. S.; AZEREDO, T. L.; FERNANDES, F. S.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. L.; SILVA, C. A. D.; MALAQUIAS, J. B. Feeding and life history of *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae) on cotton cultivars producing colored fibers. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 104, n. 4, p. 613-619, 2011.

OROZCO, A. Z. Descripción de un periodo del ciclo de vida de *Alabama argillacea* (Erebidae: Lepidoptera). **Repertorio Científico**, v. 24, n. 2, p. 46-54, 2021.

PAREDES-SÁNCHEZ, F. A.; RIVERA, G.; BOCANEGRA-GARCÍA, V.; MARTÍNEZ-PADRÓN, H. Y.; BERRONES-MORALES, M.; NIÑO-GARCÍA, N.; HERRERA-MAYORGA, V. Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. **Molecules**, v. 26, n. 18, p. 5587, 2021.

PERDOMO, D. N.; RODRIGUES, A. A. R.; SAMPAIO, M. V.; CELOTO, F. J.; MENDES, S. M.; PEREIRA, H. S.; LIMA, D. T.; REZENDE, G. F. Increase in foliar silicon content reduces defoliation by *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. **Bragantia**, v. 81, e2522, 2022.

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.

PUTRA, Rocky; BÜNKER, Markus; MÜLLER, Caroline. Role of silicon in legume-insect interactions: Insights from a plant experiencing different levels of herbivory. **Functional Ecology**, v. 38, n. 12, p. 2693-2708, 2024.

RAMOS, R. S.; SILVA, C. A. D.; LIMA, T. A.; ALBUQUERQUE JUNIOR, P. S.; CASTELLANI, M. A.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Development, survival and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed an artificial diet or on cotton, castor bean and corn leaves. **Insects**, v. 13, p. 428, 2022.

RAJENDRAN, T. P.; BIRAH, A.; BURANGE, P. S. Insect pests of cotton. In: Pests and their management. Singapore: **Springer Singapore**, 2018. p. 361-411.

RANJAN, A. et al. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 163, p. 15-25, 2021.

RAMALHO, F. S.; PACHU, J. K. S.; LIRA, A. C. S.; MALAQUIAS, J. B.; ZANUNCIO, J. C.; FERNANDES, F. S. Feeding and dispersal behavior of the cotton leafworm, *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on Bt and non-Bt cotton: implications for evolution and resistance management. **PLoS ONE**, v. 9, p. e111588, 2014.

RAMALHO, F. S.; PACHÚ, J. K. S.; LIRA, A. C. S.; MALAQUIAS, J. B.; BRITO, B. D. S.; ZANUNCIO, J. C.; FERNANDES, F. S. Effects of temperature on the feeding behavior of *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt and non-Bt cotton plants. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 9, n. 4, p. 2955-2969, 2017.

RASHID, M. M.; JAHAN, M.; ISLAM, K. S. Impact of nitrogen, phosphorus and potassium on brown planthopper and tolerance of its host rice plants. **Rice Science**, v. 23, n. 3, p. 119-131, 2016.

REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. 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.

RIZWAN, M.; ATTA, B.; RIZWAN, M.; SABIR, A. M.; TAHIR, M.; SABAR, M.; ALI, M.; ALI, M. Y. Silicon plays an effective role in integrated pest management against rice leafhopper *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **Pakistan Journal of Zoology**, v. 54, n. 2, p. 569-575, 2021.

RODRIGUES, T. R.; FERNANDES, M. G.; DEGRANDE, P. E.; MOTA, T. A. Spatial Distribution of Eggs of *Alabama argillacea* Hübner and *Heliothis virescens* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt and non-Bt Cotton. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 4, p. 2243-2253, 2015.

SANTOS, A. A.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; NAVARRO, D. M. A. F.; DUTRA, K. A.; CRUZ, G. S.; TEIXEIRA, A. A. C.; OLIVEIRA, J. V.; MILET-PINHEIRO, P. Oviposition behaviour and electrophysiological responses of *Alabama argillacea* (Hübner, 1823) (Lepidoptera: Erebididae) to essential oils and chemical compounds. **Austral Entomology**, v. 60, p. 390-399, 2021.

SANTOS-CIVIDANES, T. M.; CIVIDANES, F. J.; GARCIA, J. C.; VILELA, M.; MORAES, J. C.; BARBOSA, J. C. Silicon induces resistance to *Diatraea saccharalis* in sugarcane and it is compatible with the biological control agent *Cotesia flavipes*. **Journal of Pest Science**, v. 95, n. 2, p. 783-795, 2022.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 419, 2021.

SCHIRMER, F. G.; FAVETTI, B. M.; CLARK, T.; GALVAN, T.; CORDEIRO, E. M. G.; VIVAN, L.; TRAN, K.; BROMS, K.; MIRANDA, R. Supressão de acasalamentos e redução de danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) no algodoeiro. **Entomological Communications**, v. 5, p. ec05026, 2023.

SHARMA, S.; UPADHAYAYA, S.; TIWARI, S. Biology and integrated management of tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* Fab.: A systematic review. **Journal of Agriculture and Applied Biology**, v. 3, n. 1, p. 28-39, 2022.

SHI, Y.; LI, L. Y.; SHAHID, S.; SMAGGHE, G.; LIU, T. X. Effect of soil moisture on pupation behavior and inhabitation of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 56, n. 1, p. 69-74, 2021.

SILVA, V. F.; MORAES, J. C.; MELO, B. A. Fontes de silício na indução de resistência a insetos-praga e no desenvolvimento de plantas de batata inglesa. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 149-156, 2010.

SORGATTO, R. J.; BERNARDI, O.; OMOTO, C. Survival and development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt cotton and implications for resistance management strategies in Brazil. **Environmental Entomology**, v. 44, n. 1, p. 186-192, 2015.

SUJII, E. R.; BESERRA, V. A.; RIBEIRO, P. H.; SILVA-SANTOS, P. V.; PIRES, C. S. S.; SCHMIDT, F. G. V.; FONTES, E. M. G.; LAUMANN, R. A. Community of natural enemies

and natural biological control of the aphid *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) and cotton leafworm *Alabama argillacea* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) in the cotton crop. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 74, p. 329-336, 2022.

THABET, A. F.; BORAEI, H. A.; GALAL, O. A.; EL-SAMAHY, M. F.; MOUSA, K. M.; ZHANG, Y. Z.; TUDA, M.; HELMY, E. A.; WEN, J.; NOZAKI, T. Silica nanoparticles as pesticide against insects of different feeding types and their non-target attraction of predators. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 14484, 2021.

TOMQUELSKI, G. V.; MARTINS, G. L. M. Eficiência de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho na região dos Chapadões. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 1, p. 26-39, 2007.

VERMA, S.; SHARMA, A.; KUMAR, R.; KAUR, C.; ARORA, A.; SHAH, R.; NAIN, L. Improvement of antioxidant and defense properties of tomato (var. Pusa Rohini) by application of bioaugmented compost. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 3, p. 256-264, 2015.

WELTER, S. C. Arthropod impact on plant gas exchange. In: **Insect-plant interactions**. Boca Raton: CRC Press, 2019. p. 135-164.

WILSON, Lewis J.; WHITEHOUSE, Mary E. A.; HERRON, Grant A. The management of insect pests in Australian cotton: an evolving story. **Annual Review of Entomology**, v. 63, n. 1, p. 215-237, 2018.

ZHANG, Y.; MA, B.; HU, Y.; LI, C.; LI, Y. Accurate cotton diseases and pests detection in complex background based on an improved YOLOX model. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 203, p. 107484, 2022.

ZIMBA, K. J. et al. Potential of silicon to improve biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* on maize. **Agriculture**, v. 12, n. 9, p. 1432, 2022.

3. Capítulo I: Desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae) em folhas de algodoeiro com diferentes doses de silício

3.1 RESUMO

O curuquerê, *Alabama argillacea* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma importante praga desfolhadora do algodoeiro geralmente controlada com cultivares Bt, mas falhas no uso dessa tecnologia e sistemas de cultivo orgânico têm favorecido aumentos populacionais dessa praga. Isto aumenta a necessidade de desenvolver novas táticas, incluindo a resistência induzida pela suplementação de Si. O objetivo desse estudo foi determinar o desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de *Alabama argillacea* em folhas de algodoeiro com diferentes doses de Si. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório de Entomologia da Embrapa Algodão no município de Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três tratamentos, distribuídos em cinco repetições. Os tratamentos analisados foram: lagartas de *A. argillacea* alimentadas de folhas de algodoeiro coletadas em plantas sem Si (T1) ou fertilizadas com 150 mg kg⁻¹ (300 kg de Si ha⁻¹) (T2) e 300 mg kg⁻¹ (600 kg de Si ha⁻¹) (T3) de Si aplicados no solo. Algodoeiros adubados com Si, nas doses de 150 e 300 mg kg⁻¹ de solo, acumularam esse nutriente, de forma proporcional em suas folhas reduzindo o desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de *A. argillacea*. A sobrevivência de lagartas e a duração deste período, para *A. argillacea*, foram menores. Nenhuma pupa, desse inseto, se formou no tratamento com folhas de algodoeiro com maior teor de Si e o peso das mesmas e o número de machos na prole foram menores com teor intermediário de Si, reduzindo o potencial reprodutivo desse inseto.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*; lagarta desfolhadora; resistência induzida por Si; nutrição de plantas; controle de pragas; manejo integrado de pragas.

3.2 ABSTRACT

Alabama argillacea (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae) is an important defoliator of cotton plants and generally controlled with Bt cultivars, but failures in the use of this technology and organic cultivation systems are favoring population increases of this pest. This increases the need of developing new tactics, including resistance induced by the supplementation of the micronutrient silicon (Si). The aim of this study was to determine the development, survival and reproduction of *A. argillacea* on cotton leaves with different Si doses. The work was carried out in a greenhouse and at the Entomology Laboratory of Embrapa Algodão in the municipality of Campina Grande, Paraíba state, Brazil. The experimental design was randomized blocks with the treatments *A. argillacea* caterpillars fed on cotton leaves from plants without Si (T1) or fertilized with 150 mg kg⁻¹ 300 kg Si ha⁻¹) (T2) and 300 mg kg⁻¹ (600 kg Si ha⁻¹) (T3) of Si applied to the soil with five replications. Cotton plants fertilized with Si, at doses of 150 and 300 mg kg⁻¹ of soil, accumulated this nutrient proportionally in their leaves, reducing the development, survival and reproduction of *A. argillacea*. The survival and the duration period of *A. argillacea* caterpillars were lower. No pupae of this insect formed in the treatment with leaves from cotton plants fertilized with the highest Si dose and the weight of the pupae and the number of males in the offspring of this insect lower with intermediate Si dose, reducing the reproductive potential of this insect.

Keywords: *Gossypium hirsutum*; defoliator caterpillar; Si-induced resistance; plant nutrition; pest control; integrated pest management.

3.3 INTRODUÇÃO

Lepidópteros desfolhadores, especialmente a lagarta-do-algodoeiro *Alabama argillacea* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae) com alta voracidade e reprodução (Ramalho et al., 2014; Ramalho et al., 2017; Santos et al., 2021) e atingindo altas densidades populacionais, reduzem a fotossíntese e a produtividade das plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) (Sharma et al., 2022).

A espécie *Alabama argillacea* infesta plantas de algodão desde o estágio inicial até a maturidade (Nascimento et al., 2011; Ramalho et al., 2014; Ramalho et al., 2017). O uso de cultivares de algodão Bt reduziu a importância dessa praga nas principais regiões produtoras do Cerrado brasileiro, mas falhas nesse método e no cultivo em sistemas orgânicos e/ou agroecológicos facilitam o aumento populacional (Santos et al., 2021) e a necessidade de outras opções de manejo, incluindo a resistência induzida pela suplementação de silício (Si) no manejo integrado dessa praga (Perdomo et al., 2022).

O micronutriente Si fortalece as defesas estruturais, como as paredes celulares, tornando as folhas mais duras e menos palatáveis, além de ativar vias bioquímicas, reduzindo assim a alimentação e o desenvolvimento de insetos-praga e, conseqüentemente, seus danos (Hall et al., 2020; Islam et al., 2023). Também estimula a produção de metabólitos secundários defensivos, como compostos fenólicos e flavonoides, tóxicos ou repelentes a pragas (Perdomo et al., 2022; Islam et al., 2023), reduzindo o uso de pesticidas químicos (Perdomo et al., 2022).

A aplicação foliar de Si reduziu o período larval e o peso das pupas e aumentou o período deste último estágio de *A. argillacea* em plantas de algodão cultivadas no município de Chapadão do Sul, estado do Mato Grosso do Sul, Brasil (Tomquelski; Martins, 2007). Isso reforça a importância deste elemento benéfico aplicado ao solo para aumentar a resistência induzida das plantas de algodão à *A. argillacea*.

A hipótese é que os níveis de silício nas folhas do algodoeiro, resultantes da aplicação no solo, afetam o desenvolvimento e a reprodução de *A. argillacea*. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o desenvolvimento, a sobrevivência e a reprodução de *A. argillacea* alimentada com folhas de algodoeiro cultivadas com diferentes doses de Si aplicadas ao solo.

3.4 MATERIAL E METODOS

3.4.1 Local do estudo

O trabalho foi realizado em casa de vegetação (latitude 7° 13' 31" S e longitude 35° 54' 18" W) e no Laboratório de Entomologia (latitude 7° 13' 32" S e longitude 35° 54' 19" W) da Embrapa Algodão, no município de Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil.

3.4.2 Insetos, material vegetal e solo

Exemplares de *A. argillacea* foram obtidos das colônias de criação do Laboratório de Entomologia, onde larvas desse inseto se alimentam de folhas destacadas das plantas de algodão (Bestete et al., 2017). Sementes de algodão (cultivar BRS 286), obtidas do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Embrapa, foram semeadas em casa de vegetação com solo eutrófico Neossolo Regolítico coletado na camada arável, 0-20 cm de profundidade, em uma área de 4m² no campo experimental desta instituição, deixado em pousio por mais de dez anos (Santos et al., 2018). Amostras de solo foram analisadas no laboratório de fertilidade do solo da Embrapa e corrigidas conforme recomendado para o cultivo de algodão (Borin et al., 2014), porém sem adição de potássio. Este macronutriente foi posteriormente aplicado ao solo na forma de silicato de potássio para não afetar os tratamentos.

3.4.3 Determinação do teor de Si em folhas de algodão

O teor de Si nas folhas de algodão foi determinado conforme Silva (2009), como segue:

A terceira folha apical de cada planta de algodão, tratada ou não, foi colhida trinta dias após a emergência, lavada com solução detergente a 0,2%, enxaguada duas vezes com água

deionizada para remover possíveis contaminantes e seca em papel-toalha. As folhas foram então colocadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C por 72 horas, trituradas em moinho Wiley, passadas por peneiras de malha de 1,0 mm (malha 20) e armazenadas em sacos plásticos para análise química.

Amostras de folhas trituradas (500 mg) foram transferidas para cadinhos de porcelana e incineradas em forno mufla elétrico com temperatura gradualmente ajustada para 500° C e mantidas nesta temperatura por três horas.

Cinquenta mL de solução de NaOH (1%) foram adicionados às cinzas resultantes da incineração das amostras de algodão e mantidas em um tubo de polietileno de 80mL. Dois mL desta solução foram pipetados, misturados com 18mL de água destilada e 5mL transferidos para um recipiente plástico de 50mL. Em seguida, 1,0mL de molibdato 1,0%, 1,0 mL de ácido oxálico 2%, 1,0mL de H₂SO₄ 1,5M e 0,03 g de ácido ascórbico foram adicionados a esta solução, que foi deixada reagindo por 20 minutos antes de ser lida usando um espectrofotômetro (660nm). A concentração de Si no tecido foliar foi calculada usando a equação: Si g kg⁽⁻¹⁾ (matéria seca ou MS) = mg L⁻¹Si na solução de leitura x 1,0.

3.4.4 Bioensaios de biologia

Sementes de algodão foram plantadas em 30 vasos plásticos de cinco litros, com solo da área de pousio adubado manualmente com Si e aplicação de 20 ml da solução corretiva (Novais et al., 1991). O Si foi aplicado na forma de silicato de potássio, utilizando o produto comercial Flex Silício® (12% Si (165,60 g/L), 12% Potássio (165,60 g/L)). As plantas germinadas foram desbastadas, restando três por vaso, e as folhas foram coletadas 30 dias após a germinação para início do bioensaio.

Ovos de *A. argillacea* foram separados em grupos de 48 por tratamento em placas de Petri de 10 cm de diâmetro e 0,9 cm de altura, forradas com papel de filtro até a eclosão das lagartas. As lagartas recém-eclodidas foram transferidas para bandejas plásticas com 16 poços (5,5 cm

de comprimento $\times$ 2,5 cm de largura $\times$ 2,5 cm de altura cada poço), individualizados por poço plástico e distribuídos nos tratamentos com folhas de plantas fertilizadas ou não com Si.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três tratamentos distribuídos aleatoriamente por bloco, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em lagartas de *A. argillacea* alimentadas com pedaços de folhas coletadas de plantas de algodão sem Si (T1) ou fertilizadas com 150 mg kg⁻¹ (300 kg de Si.ha⁻¹) (T2) e 300 mg kg⁻¹ desse micronutriente no solo (600 kg de Si.ha⁻¹) (T3). Cada tratamento foi realizado utilizando 48 larvas individuais (um total de 48 larvas por tratamento = 4 repetições de 12 larvas cada). O baixo teor de Si no solo em pousio foi desconsiderado, pois estava presente em todos os tratamentos.

As lagartas de *A. argillacea* foram alimentadas *ad libitum* com discos de folhas de algodão de dois centímetros de diâmetro dos diferentes tratamentos, que foram substituídos a cada dois dias ou sempre que fossem completamente consumidos pelas lagartas. Os poços das bandejas plásticas foram fechados com tampas plásticas do mesmo tamanho e mantidos em câmara climatizada a 25 °C, 60 $\pm$ 10% de umidade relativa e fotoperíodo de 12 horas até o final das observações.

As pupas de *A. argillacea* foram pesadas em balança analítica AY220 (Shimadzu Corporation, Columbia, MD, EUA) com precisão de 0,0001 g, separadas por sexo e mantidas em gaiolas de PVC até a emergência dos adultos (Medeiros et al., 2003). A razão sexual foi calculada dividindo-se o número de fêmeas pelo número total de machos e fêmeas. Dez casais de *A. argillacea* foram individualizados por gaiola para acasalamento e postura, recebendo solução de mel a 10% até o final do ciclo biológico.

Observações biológicas foram feitas diariamente às 8h e às 14h usando um estereomicroscópio EL224 (BEL Engineering, Monza, Milão, Itália) com aumento de 20x, até o final do ciclo biológico de *A. argillacea*. A largura da cápsula cefálica foi medida com o software *Image J* versão 1.53s (Rasband, IL, EUA. US National Institutes of Health; Bethesda,

MD, EUA) em imagens de lagartas imobilizadas com pinça cirúrgica e pincel de número 01, 24 horas após a ecdise. A duração e a sobrevivência do período larval e do primeiro, segundo, terceiro e quarto ínstar, pré-pupa, pupa e características reprodutivas (períodos de pré-oviposição, oviposição e pós-oviposição, longevidade, período de incubação, fecundidade, número de ovos e ovos viáveis) foram avaliadas.

3.4.5 Análise de dados

A normalidade dos dados foi verificada usando o teste de Lilliefors, antes de submetê-los à análise estatística paramétrica e não paramétrica. Dados sobre sobrevivência e duração de estágios imaturos, peso de pupa, largura da cápsula cefálica, taxa de crescimento e características reprodutivas de *A. argillacea* foram transformados, quando necessário, para a raiz quadrada de $x + 0,5$ para melhorar a normalidade antes da análise. Dados seguindo distribuição normal não foram transformados. Os dados, exceto a largura da cápsula cefálica, foram analisados por ANOVA com $P \leq 0,05$ e as diferenças entre os tratamentos foram indicadas pelo teste de Tukey. Os dados da largura da cápsula cefálica foram submetidos à ANOVA bidirecional ($P \leq 0,05$) e as diferenças entre os tratamentos foram indicadas pelo teste de Tukey. As análises estatísticas foram realizadas usando o Sistema de Análise Estatística e Genética (SAEG).

3.5 RESULTADOS

O teor de Si no solo em pousio, antes da fertilização com este micronutriente, foi de 17,4 mg kg⁻¹. Entretanto, seu teor no solo ($F_{2,27} = 40,75$; $P < 0,01$) e nas folhas das plantas de algodão ($F_{2,38} = 149,70$; $P < 0,01$) (Fig. 1) foi maior ($608,52 \pm 43,59$ mg kg⁻¹) naquelas fertilizadas com 300 mg do que com 150 ($187,93 \pm 5,63$ mg kg⁻¹) mg kg⁻¹ e na testemunha, sem fertilização, com $77,80 \pm 10,56$ mg kg⁻¹ de Si.

A sobrevivência do primeiro ($F_{2,6} = 1,11$; $P > 0,05$) e do segundo ($F_{2,6} = 0,37$; $P > 0,05$) ínstar de *A. argillacea* foi semelhante entre os tratamentos, mas a do terceiro ($F_{2,6} = 6,75$; $P = 0,03$),

quarto ($F_{2,6} = 4,06$; $P = 0,05$) e quinto ($F_{2,6} = 55,64$; $P < 0,01$) ínstaes foi maior com folhas de algodão no controle e a do quinto ínstar neste tratamento e com folhas com a dose intermediária de Si. A sobrevivência do terceiro, quarto e quinto ínstaes de *A. argillacea* foi menor nas folhas de algodão com a maior dose de Si (Tabela 1).

A sobrevivência de larvas ($F_{2,6} = 21,85$; $P < 0,01$) e pré-pupas ($F_{1,3} = 2038,81$; $P < 0,01$) de *A. argillacea* foi maior com folhas de algodão no controle (Tabela 1) e com a dose intermediária de Si ($F_{1,3} = 1,00$; $P > 0,05$). Lagartas de *A. argillacea* alimentadas com folhas de algodão com maior teor de Si morreram na fase pré-pupa sem formar pupas (Tabela 1).

A duração do primeiro ($F_{2,6} = 25,00$; $P < 0,01$) e segundo ($F_{2,6} = 6,19$; $P = 0,03$) ínstaes de *A. argillacea* foi maior nas folhas de algodão com dose intermediária de Si e na do quarto ($F_{2,6} = 14,38$; $P < 0,01$) e quinto ($F_{2,5} = 7,29$; $P = 0,03$) ínstaes (Tabela 2) no controle e com folhas de algodão com dose intermediária de Si.

O período larval de *A. argillacea* foi maior em folhas de algodão com a dose intermediária de Si, seguido pelo controle e menor com a alta dose de Si ($F_{2,5} = 7,77$; $P = 0,03$), sendo os estágios de pré-pupa ($F_{1,3} = 0,00$; $P > 0,05$) e pupa ($F_{1,3} = 4,66$; $P > 0,05$) semelhantes entre os tratamentos (Tabela 2). Lagartas de *A. argillacea* alimentadas com folhas de algodão com alto teor de Si não atingiram o estágio de pupa e, portanto, o período de duração desse estágio não foi determinado.

A largura da cápsula cefálica do primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ínstaes de *A. argillacea* foi maior com folhas de algodão no controle (Tabela 3), mas a do último ínstar foi semelhante àquela com teor intermediário de Si. A largura da cápsula cefálica das lagartas de *A. argillacea* aumentou com os ínstaes desta praga em todos os tratamentos. A razão sexual das pupas de *A. argillacea* foi semelhante no controle e com a dose intermediária de Si, mas o peso foi menor e a proporção de machos na prole foi maior com a dose de 150 mg kg^{-1} ($F_{1,3} = 13,05$; $P = 0,04$) deste micronutriente (Tabela 3). A falta de formação de pupas no tratamento

com a maior dose de Si impediu a obtenção do peso e da razão sexual deste inseto neste tratamento.

Os períodos de pós-oviposição ($F_{1,9} = 182,25$; $P < 0,01$), longevidade ($F_{1,9} = 36,00$; $P < 0,01$), número de ovos por fêmea ($F_{1,9} = 6062,09$; $P < 0,01$) e por dia ($F_{1,9} = 12,64$; $P < 0,01$) e ovos viáveis ($F_{1,9} = 512,57$; $P < 0,01$) de *A. argillacea* foram maiores no controle; a oviposição ($F_{1,9} = 1,00$; $P = 0,34$) foi semelhante entre os tratamentos e a pré-oviposição ($F_{3,26} = 16,00$; $P < 0,01$) maior com a dose intermediária de Si (Tabela 4).

3.6 DISCUSSÃO

O teor de Si no solo em pousio antes da fertilização, $17,4 \text{ mg kg}^{-1}$, era esperado, visto que este micronutriente é abundante no solo (Bakhat et al., 2017), mas em baixos níveis disponíveis para as plantas (Liang et al., 2015), encontrado principalmente na forma cristalina em minerais insolúveis (Perdomo et al., 2022). O maior teor de silício nas folhas de plantas de algodão fertilizadas com 300 mg kg^{-1} de Si, via solo, deve-se à sua rápida assimilação e acúmulo nas folhas do algodão, como H_4SiO_4 (ácido silícico), pela polimerização de silicatos nas células epidérmicas formando uma dupla camada de silício-cutícula (Sakr, 2017; Silva et al., 2023). Além disso, a absorção de Si, aplicado como silicato, é maior em solos arenosos, especialmente aqueles com valores deste elemento inferiores a 18 mg kg^{-1} (Korndörfer et al., 2001; EL-Sayed et al., 2019), como o da área de pousio (Neossolo Regolítico Eutrófico).

A sobrevivência semelhante de *A. argillacea*, no primeiro e segundo ínstares e diferindo no terceiro, quarto e quinto, entre os tratamentos, provavelmente se deve ao comportamento alimentar das lagartas, com as mais jovens sendo mais seletivas e quase sempre se alimentando de áreas mais macias na parte adaxial das folhas de algodoeiro com menor fibra e mais Si acumulado (Hochuli, 2001; Zalucki et al., 2002). Nas folhas de algodão, o Si se acumula na parte abaxial da epiderme, próximo à cutícula, principalmente nos retículos do apoplasto, espaços intercelulares e paredes celulares (Silva et al., 2023).

As maiores taxas de sobrevivência de terceiro e quarto ínstaes de *A. argillacea* em folhas de algodoeiro do tratamento controle e com dose intermediária de Si se devem, provavelmente, ao baixo acúmulo foliar desse elemento nesses tratamentos (Touber et al., 2020). Por outro lado, as menores taxas de sobrevivência de terceiro, quarto e quinto ínstaes de *A. argillacea* em folhas de algodão com maior dose de Si indicam aumento da resistência mecânica das folhas do algodoeiro, pois este elemento, aplicado na dose de 300 mg kg⁻¹, reduz a digestibilidade do alimento consumido (Reynolds et al., 2016; Perdomo et al., 2022).

A maior sobrevivência de larvas e pré-pupas de *A. argillacea* em folhas de algodão no controle e com o teor intermediário de Si pode ser devido ao acúmulo crescente deste micronutriente com a dose aplicada ao solo (Silva et al., 2023). As maiores taxas de sobrevivência com folhas com dose intermediária de Si e no controle indicam um efeito diferencial na defesa desta planta devido à deposição e maior concentração deste micronutriente na epiderme foliar das plantas de algodoeiro (O'Reagain; Mentis, 1989; Sakr, 2017). No entanto, isso varia de acordo com o genótipo de algodoeiro, as condições edafoclimáticas e a quantidade de ácido monossilícico disponível no solo para absorção pela planta (Epstein, 1994; Sakr, 2017). A mortalidade total de pré-pupas, impedindo a formação de pupas, com folhas de algodoeiro no tratamento com maior teor de Si se deve, provavelmente, ao maior acúmulo deste micronutriente conforme relatado para a alta mortalidade de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas de milho nesta condição (Pereira et al., 2021; Haq et al., 2022).

Variações na duração do primeiro, segundo, quarto e quinto ínstaes de *A. argillacea* entre os tratamentos são, provavelmente, devidas a alterações bioquímicas e morfológicas relacionadas à defesa em folhas de algodoeiro (Sakr, 2017). A maior duração do primeiro e segundo ínstaes de *A. argillacea* em folhas de algodoeiro com dose intermediária de Si pode estar relacionada à indução de resistência mediada por aleloquímicos (Reynolds et al., 2016), com plantas de algodoeiro mais responsivas a doses intermediárias de silício do que a doses

mais altas. No entanto, ambas as concentrações de silício aparentemente estimularam a produção de metabólitos secundários defensivos, aumentando a duração desses estágios de *A. argillacea* (Stipanovic et al., 2008; Nascimento et al., 2011).

A duração semelhante do terceiro ínstar de *A. argillacea* em todos os tratamentos pode ser devida à adaptação das larvas desse inseto ao consumo de folhas de plantas do solo com a adição desse micronutriente, mesmo com aleloquímicos e à ação abrasiva do tecido foliar devido ao endurecimento pelo acúmulo de silício (Bakhat et al., 2018). No entanto, a menor duração do quarto e quinto ínstars no tratamento com maior teor de Si indica uma melhora na fisiologia da alimentação pós-ingestão por *A. argillacea* e em sua digestibilidade e eficiência de assimilação de nitrogênio, como encontrado mesmo com 600 mg kg⁻¹ de folha (Tomquelski; Martins, 2007; Moise et al., 2019). Essa resposta compensatória das larvas de *A. argillacea* pode estar relacionada a diferenças na ultraestrutura do intestino médio dessa espécie especialista em comparação às generalistas, que responderam ao aumento do teor de Si com o aumento do seu período de desenvolvimento (Mondego et al., 2018; Hall et al., 2020; Perdomo et al., 2022). O polimorfismo mitocondrial e as microvilosidades bifurcadas no intestino médio podem conferir maior absorção em termos da atividade secretora das células colunares das larvas de *A. argillacea* (Sousa et al., 2009), mas essa hipótese precisa ser investigada mais a fundo.

As variações na duração dos ínstars de *A. argillacea* entre os tratamentos provavelmente se devem a diferenças no consumo, ingestão e digestão de folhas de algodão com diferentes graus de textura, induzidas pelo Si aplicado no solo (Reynolds et al., 2016). O período larval mais longo de *A. argillacea* em folhas de algodão com dose intermediária de Si de 150 mg kg⁻¹ de Si no solo induziu uma resposta compensatória comum e semelhante à de lagartas lepidópteras generalistas criadas em plantas com teor de nutrientes abaixo do ideal (Stiling; Cornelissen, 2007) ou maior abrasão foliar (Han et al., 2015). Por outro lado, o menor período larval de *A.*

argillacea em folhas de algodão no tratamento com alta dose de Si pode ser atribuído ao excesso desse micronutriente acumulado nas folhas de algodão, com resposta compensatória contrária à normalmente observada para lagartas de lepidópteros generalistas (Stipanovic et al., 2008).

A mortalidade total de pré-pupas de *A. argillacea*, sem formação de pupas, indica que a aplicação de Si, em altas concentrações no solo, pode ser uma estratégia de manejo para essa praga, como demonstrado para lagartas de *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae) com folhas de soja tratadas com nanopartículas de sílica (Borei et al., 2014; Amine et al., 2022). Por outro lado, a duração semelhante dos períodos de pré-pupa e pupa de *A. argillacea* no controle e no tratamento com teor intermediário de Si confirma a ausência de efeito da fertilização com Si na dose de 150 mg kg⁻¹, como relatado para o besouro do feijão, *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) (Mebrahtu et al., 1998).

A maior largura da cápsula cefálica do primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ínstar de *A. argillacea* com folhas de algodão no controle e aquelas do quinto ínstar com teor intermediário de Si e menores com maior teor deste micronutriente confirmam redução na palatabilidade e menor qualidade nutricional da planta hospedeira, reduzindo este parâmetro morfométrico (Hatcher et al., 1997; Salgado et al., 2019). O aumento da largura da cápsula cefálica de *A. argillacea* do primeiro ao último ínstar em todos os tratamentos, mas sem adicionais, com razão de crescimento se adequando a regra de Dyar (Dyar, 1980) indica uma ausência de efeito do Si nesta estrutura corporal, altamente esclerotizada nos corpos das lagartas, ao contrário de *Malacosoma disstria* Hübner (Lepidoptera: Lasiocampidae) com ínstar adicionais, atribuído à dureza das folhas das plantas tratadas com Si (Esperk et al., 2007; Quezada-García et al., 2014).

O menor peso das pupas e a maior proporção de machos na prole no tratamento com 150 mg kg⁻¹ de Si podem ser atribuídos ao acúmulo intermediário deste micronutriente nas folhas do algodão. A redução no consumo, ingestão e conversão de alimentos pelas lagartas de *A.*

argillacea pode ser atribuída ao aumento da dureza e abrasividade das folhas de algodão, conforme relatado para *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentadas, respectivamente, com folhas de arroz nos tratamentos com 160 e 320 mg kg⁻¹ de Si no solo, e milho após aplicação foliar de silicato de potássio (10 mL L⁻¹) + Acibenzolar-S-metil (2 mg mL⁻¹) (Han et al., 2015; Mondego et al., 2018). A menor razão sexual no tratamento com folhas com teor intermediário de Si do que no controle, com maior produção de machos, pode estar relacionada a maiores custos para o desenvolvimento das fêmeas deste inseto (Quezada-García et al., 2014).

Os maiores valores do período pós-oviposição e longevidade, número de ovos por fêmea, número de ovos por dia e ovos viáveis de fêmeas de *A. argillacea*, originárias de lagartas alimentadas com folhas de algodão no tratamento controle do que no tratamento com dose intermediária de Si, aplicada em doses menores ao solo, confirmam uma redução na reprodução deste lepidóptero praga. Isso pode estar relacionado ao menor consumo e assimilação de nutrientes pelas lagartas, como relatado para a cigarrinha-da-cana *Mahanarva fimbriolata* Stal (Hemiptera: Cercopidae) (Korndörfer et al., 2011). Isso também pode explicar o maior período de pré-oviposição neste tratamento, como relatado para o aumento da maturação sexual após a emergência de fêmeas Noctuidae originárias de lagartas desnutridas (Forcea et al., 2023). A viabilidade e o número de ovos por fêmea de *S. frugiperda*, originados de lagartas alimentadas em folhas de milho tratadas com Si via solo e pulverização foliar (Modolon et al., 2017; Nascimento et al., 2018) e o número de ovos por fêmea desta praga originados de lagartas alimentadas em folhas de algodão tratadas via pulverização foliar com Si foram menores (Silva et al., 2014).

Plantas de algodão fertilizadas com Si nas doses de 150 e 300 mg kg⁻¹ no solo acumularam esse elemento em suas folhas, reduzindo o período larval, a sobrevivência e a reprodução de *A. argillacea* e sem formação de pupas no tratamento com a maior dose de Si, sendo que o peso

das pupas foi menor e o número de machos na prole maior com a dose intermediária desse micronutriente. A aplicação de Si no solo pode ser uma estratégia sustentável para o manejo da lagarta desfolhadora do algodão, *A. argillacea*, particularmente em plantações de algodão do Cerrado com falhas no controle do algodão Bt e em cultivos orgânicos e/ou agroecológicos em pequenas propriedades no semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS

- AMINE, H. M.; HAMED, S. A.; ANBAR, H. A.; SHALABY, G. A.; KHAZAL, N. M.; ABD EL-RAHMAN, H. A. Effect of different silica sources on cotton leafworm population in sugar beet plants, and their influence on sugar beet yield. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 10, n. 3, p. 55-60, 2022.
- BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21-34, 2018.
- BESTETE, L. R.; TORRES, J. B.; SILVA, R. B. B.; SILVA-TORRES, C. S. A.; BASTOS, C. S. Development of cotton pests exhibiting different feeding strategy on water-stressed and kaolin-treated cotton plants. **Journal of Pest Science**, v. 90, n. 1, p. 139-150, 2017.
- BOREI, H. A.; EL-SAMAHY, M. F. M.; GALA, O. A. The efficiency of silica nanoparticles in control cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* Boisd. (Lepidoptera: Noctuidae) in soybean under laboratory conditions. **Global Journal of Agriculture and Food Safety Sciences**, v. 1, n. 2, p. 161-168, 2014.
- BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S. Adubação do algodoeiro no ambiente de cerrado. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014.
- CALVO, D.; MOLINA, J. M. Head capsule width and instar determination for larvae of *Streblote panda* (Lepidoptera: Lasiocampidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 101, n. 5, p. 881-886, 2008.
- DYAR, H. G. The number of molts of lepidopterous larvae. *Psyche (Cambridge)*, v. 5, p. 420-422, 1980.
- EL-SAYED, A. A.; ABOU SEEDA, M. A.; YASSEN, A. A.; ZAGHLOUL, S. M.; KHATE, A. Silicon in soils, plants and its important role in crop production: A review. **Middle East Journal of Agriculture Research**, v. 8, p. 983-1004, 2019.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, v. 91, p. 11-17, 1994.
- ESPERK, T.; TAMMARU, T.; NYLIN, S. Intraspecific variability in number of larval instars in insects. **Journal of Economic Entomology**, v. 100, n. 3, p. 627-645, 2007.
- FORCEA, E.; COUZIA, P.; DACHERA, M.; DEBERNARD, S. Diet impacts the reproductive system's maturation in the male moth *Agrotis ipsilon* (Noctuidae, Lepidoptera). **Journal of Insect Physiology**, v. 148, p. 104532, 2023.
- HALL, C. R.; DAGG, V.; WATERMAN, J. M.; JOHNSON, S. N. Silicon alters leaf surface morphology and suppresses insect herbivory in a model grass species. **Plants**, v. 9, p. 643, 2020.
- HAN, Y.; LEI, W.; WEN, L.; HOU, M. Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **PLoS One**, v. 10, n. 4, p. e0120557, 2015.

HAQ, I. U.; ZHANG, K.; ALI, S.; MAJID, M.; ASHRAF, H. J.; KHURSHID, A.; INAYAT, R.; LI, C.; GOU, Y.; AL-GHAMDI, A. A.; ELSHIKH, M. S.; KUBIK, S.; LIU, C. Effectiveness of silicon on immature stages of the fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)]. **Journal of King Saud University – Science**, v. 34, n. 6, p. 102152, 2022.

HATCHER, P. E.; PAUL, N. D.; AYRES, P. G.; WHITTAKER, J. B. Nitrogen fertilization affects interactions between the components of an insect–fungus–plant tripartite system. **Functional Ecology**, v. 11, p. 537-544, 1997.

HOCHULI, D. F. Insect herbivory and ontogeny: how do growth and development influence feeding behaviour, morphology and host use? **Austral Ecology**, v. 26, p. 563-570, 2001.

ISLAM, T.; MOORE, B. D.; JOHNSON, S. N. Silicon fertilization affects morphological and immune defences of an insect pest and enhances plant compensatory growth. **Journal of Pest Science**, v. 96, n. 1, p. 41-53, 2023.

KORNDÖRFER, A. P.; GRISOTO, E.; VENDRAMIM, J. D. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. **Neotropical Entomology**, v. 40, p. 387–392, 2011.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, M.; POWELL, G.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, p. 1071-1084, 2001.

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. Silicon and insect pest resistance. In: LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. (eds.). *Silicon in agriculture: from theory to practice*. Berlin: **Springer**, 2015. p. 197-207.

MEBRAHTU, T.; KENWORTHY, W. J.; ELDEN, T. C. Inorganic nutrient analysis of leaf tissue from soybean lines screened for Mexican bean beetle resistance. **Journal of Entomological Science**, v. 23, p. 44–51, 1988.

MEDEIROS, R. S.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, J. V.; BARROS, R. Estimativa do desenvolvimento de *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) por meio de modelos não lineares. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, p. 589-598, 2003.

MODOLON, T. A.; ALVES, L. F.; PIETROWSKI, V.; GUIMARÃES, A. T. B. Diet and life cycle of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in maize treated with the homeopathic preparation *Silicea terra*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 12, n. 2, p. 106-116, 2017.

MOISE, E. R. D.; MCNEIL, J. N.; HARTLEY, S. E.; HENRY, H. A. L. Plant silicon effects on insect feeding dynamics are influenced by plant nitrogen availability. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 167, p. 91–97, 2019.

MONDEGO, J. M.; MACHADO, K. K. G.; OLIVEIRA, L. J. M. G.; LEMOS, R. N. S.; BASTISTA, J. L.; FERRAZ JUNIOR, A. S. L.; ARAUJO, A. M. S.; MELO, P. A. F. R.; MESQUITA, M. L. R. Effect of resistance elicitors on the biology and feeding preference of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in corn. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 11, p. 1774-1781, 2018.

- NASCIMENTO, A. M.; ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; SOUZA, B. H. S. Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Journal of Applied Entomology**, v. 142, p. 241-249, 2018.
- NASCIMENTO, A. R. B.; RAMALHO, F. S.; AZEREDO, T. L.; FERNANDES, F. S.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. L.; SILVA, C. A. D.; MALAQUIAS, J. B. Feeding and life history of *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae) on cotton cultivars producing colored fibers. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 104, n. 4, p. 613-619, 2011.
- NOVAIS, R. F. de; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. de. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. de; LOURENÇO, S. (Coords.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-253. (EMBRAPA-SEA. Documentos, 3).
- O'REAGAIN, P. J.; MENTIS, M. T. Leaf silicification in grasses – a review. **Journal of the Grassland Society of Southern Africa**, v. 6, p. 37–43, 1989.
- PERDOMO, D. N.; RODRIGUES, A. A. R.; SAMPAIO, M. V.; CELOTO, F. J.; MENDES, S. M.; PEREIRA, H. S.; LIMA, D. T.; REZENDE, G. F. Increase in foliar silicon content reduces defoliation by *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. **Bragantia**, v. 81, p. e2522, 2022.
- PEREIRA, P.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, B. H. S. de; PEÑAFLORES, M. F. G. V. Silicon supplementation of maize impacts fall armyworm colonization and increases predator attraction. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 654–661, 2021.
- QUEZADA-GARCÍA, R.; PURESWARAN, D.; BAUCE, E. Nutritional stress causes male-biased sex ratios in eastern spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae). **Canadian Entomologist**, v. 146, p. 219-223, 2014.
- RAMALHO, F. S.; PACHU, J. K. S.; LIRA, A. C. S.; MALAQUIAS, J. B.; ZANUNCIO, J. C.; FERNANDES, F. S. Feeding and dispersal behavior of the cotton leafworm, *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on Bt and non-Bt cotton: implications for evolution and resistance management. **PLoS ONE**, v. 9, e111588, 2014.
- RAMALHO, F. S.; PACHÚ, J. K. S.; LIRA, A. C. S.; MALAQUIAS, J. B.; BRITO, B. D. S.; ZANUNCIO, J. C.; FERNANDES, F. S. Effects of temperature on the feeding behavior of *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt and non-Bt cotton plants. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 9, n. 4, p. 2955-2969, 2017.
- REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. 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.
- SAKR, N. The role of silicon (Si) in increasing plant resistance against insect pests – review article. **Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica**, v. 52, p. 185-204, 2017.
- SALGADO, A. L.; SAASTAMOINEN, M. Developmental stage-dependent response and preference for host plant quality in an insect herbivore. **Animal Behaviour**, v. 150, p. 27-38, 2019.

- SANTOS, A. A.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; NAVARRO, D. M. A. F.; DUTRA, K. A.; CRUZ, G. S.; TEIXEIRA, A. A. C.; OLIVEIRA, J. V.; MILET-PINHEIRO, P. Oviposition behaviour and electrophysiological responses of *Alabama argillacea* (Hübner, 1823) (Lepidoptera: Erebidae) to essential oils and chemical compounds. **Austral Entomology**, v. 60, p. 390-399, 2021.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.
- SHARMA, S.; UPADHAYAYA, S.; TIWARI, S. Biology and integrated management of tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* Fab.: A systematic review. **Journal of Agriculture and Applied Biology**, v. 3, n. 1, p. 28-39, 2022.
- SILVA, A. A.; ALVARENGA, R.; MORAES, J. C.; ALCANTRA, E. Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em algodoeiro de fibra colorida tratado com silício. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 1, p. 65-68, 2014.
- SILVA, D. B.; PAIXÃO-DARUICHI, A. P.; VIEIRA, N. C. S.; MARTINS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E. Gas exchange and leaf anatomy of cotton subjected to application of calcium silicate and mepiquat chloride under water stress. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 29, p. 221–226, 2023.
- SILVA, F. C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- SOUSA, M. E. C.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; TEIXEIRA, A. A.; SIQUEIRA, H. Á. de; SANTOS, F. A.; ALVES, L. C. Ultrastructure of the *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) midgut. **Micron**, v. 40, n. 7, p. 743-749, 2009.
- STILING, P.; CORNELISSEN, T. How does elevated carbon dioxide (CO₂) affect plant-herbivore interactions? A field experiment and meta-analysis of CO₂-mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. **Global Change Biology**, v. 13, p. 1823–1842, 2007.
- STIPANOVIC, R. D.; LÓPEZ, J. D.; DOWD, M. K.; PUCKLABER, L. S.; DUKE, S. E. Effect of racemic, (+)- and (-)- gossypol on survival and development of *Heliothis virescens* larvae. *Environmental Entomology*, v. 37, p. 1081-1085, 2008.
- TOMQUELSKI, G. V.; MARTINS, G. L. M. Eficiência de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho na região dos Chapadões. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 1, p. 26-39, 2007.
- TOUBER, F.; TURNER, B. L.; LALIBERTÉ, E.; LAMBERS, H.; MAHY, G.; FAUCON, M.-P.; ZEMUNIK, G.; CORNELIS, J.-T. Plants sustain the terrestrial silicon cycle during ecosystem retrogression. **Science**, v. 369, n. 6508, p. 1245-1248, 2020.
- ZALUCKI, M. P.; CLARKE, A. R.; MALCOLM, S. B. Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. **Annual Review of Entomology**, v. 47, p. 361-393, 2002.

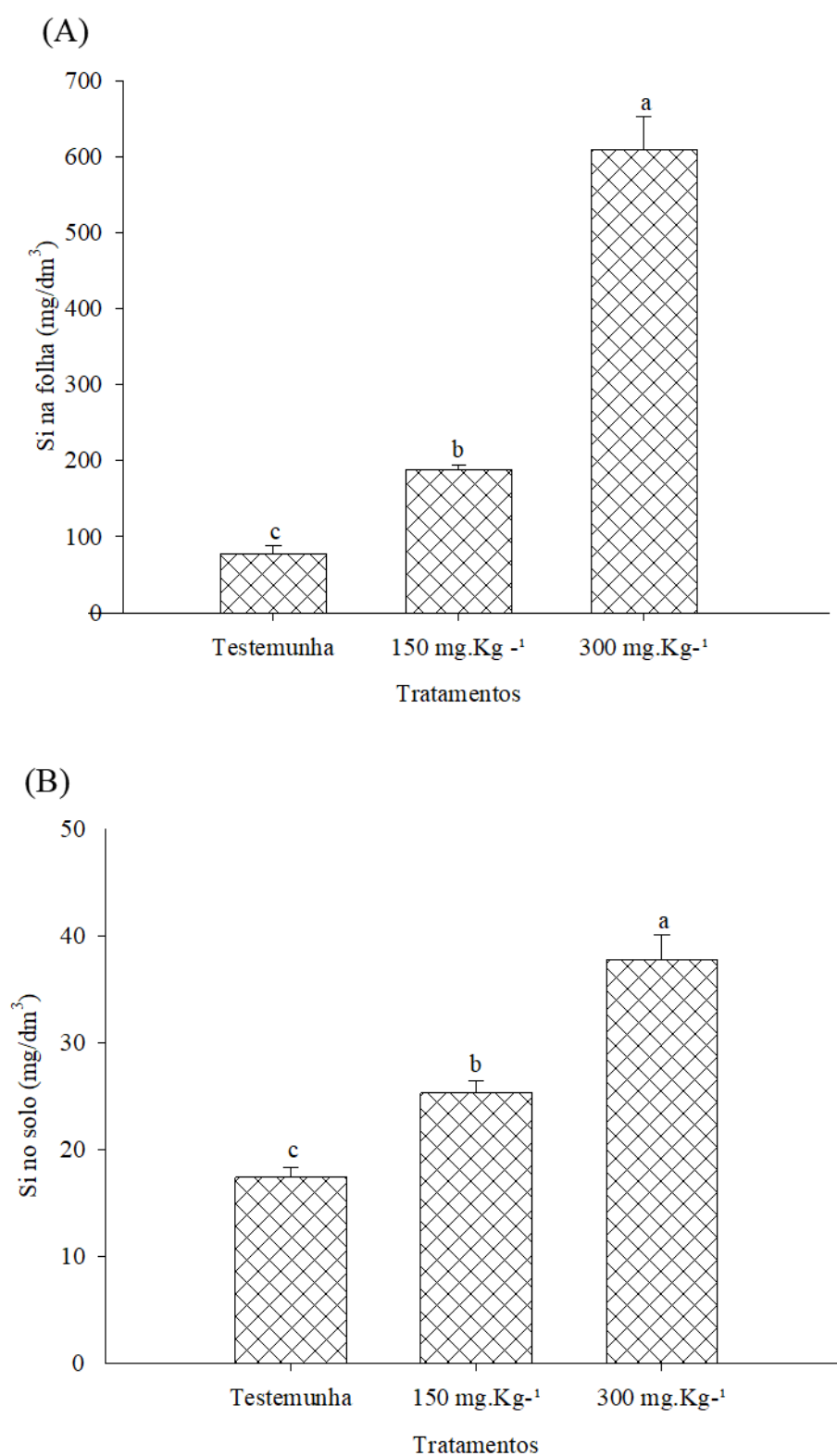


Fig. 1. Teor de silício (Si) na terceira folha expandida do algodoeiro (A) e no solo (B) nos tratamentos controle (T1) e com aplicação de 150 (300 kg de Si.ha⁻¹) (T2) e 300 (600 kg de Si.ha⁻¹) (T3) mg kg⁻¹ de solo.

Tabela 1. Sobrevivência (% , média $\pm$ erro padrão) do primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ínstaes e dos estágios larval, pré-pupa e pupa de *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae) alimentadas, a $25 \pm 1^\circ \text{C}$, umidade relativa de $60 \pm 10\%$ e fotófase de 12 horas, com folhas de algodão no controle e com a aplicação de 150 (300 kg de Si.ha⁻¹) (T2) e 300 (600 kg de Si.ha⁻¹) (T3) mg kg⁻¹ de solo.

Estágio	Instar	Dose (mg kg ⁻¹)		
		0	150	300
	Primeiro	91,67 $\pm$ 3,40 a	100,00 $\pm$ 0,00 a	93,75 $\pm$ 6,25 a
	Segundo	95,83 $\pm$ 4,17 a	91,67 $\pm$ 4,81 a	90,28 $\pm$ 4,61 a
	Terceiro	100,00 $\pm$ 0,00 a	95,42 $\pm$ 2,67 ab	70,18 $\pm$ 9,40 b
	Quarto	100,00 $\pm$ 0,00 a	87,40 $\pm$ 4,91 ab	78,13 $\pm$ 10,67 b
	Quinto	100,00 $\pm$ 0,00a	96,43 $\pm$ 3,57 a	44,82 $\pm$ 19,13 b
Larva		89,58 $\pm$ 3,99 a	75,00 $\pm$ 10,21a	10,41 $\pm$ 3,99 b
Pré-pupa		100,00 $\pm$ 0,00 a	88,20 $\pm$ 1,75 b	00,00 $\pm$ 0,00
Pupa		100,00 $\pm$ 0,00 a	96,88 $\pm$ 3,13 a	-

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). (-) Sem dados.

Tabela 2. Período de desenvolvimento (dias, média $\pm$ erro padrão) da fase larval e do primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ínstar e da pré-pupa e pupa de *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) a $25 \pm 1^\circ \text{C}$, umidade relativa de $60 \pm 10\%$ e fotófase de 12 horas, com folhas de algodão na testemunha e com a aplicação de 150 (300 kg de Si.ha⁻¹) (T2) e 300 (600 kg de Si.ha⁻¹) (T3) mg kg⁻¹ de solo.

Estágio	Instar	Dose (mg kg ⁻¹)		
		0	150	300
	Primeiro	1,00 $\pm$ 0,00 b	1,83 $\pm$ 0,17 a	1,00 $\pm$ 0,00 b
	Segundo	2,41 $\pm$ 0,12 b	2,84 $\pm$ 0,04 a	2,55 $\pm$ 0,14 ab
	Terceiro	3,09 $\pm$ 0,08 a	2,88 $\pm$ 0,09 a	3,00 $\pm$ 0,19 a
	Quarto	3,21 $\pm$ 0,07 a	2,97 $\pm$ 0,09 a	1,76 $\pm$ 0,29 b
	Quinto	3,84 $\pm$ 0,13 a	3,79 $\pm$ 0,36 a	1,38 $\pm$ 0,63 b
Larva		13,55 $\pm$ 0,28 ab	14,55 $\pm$ 0,19 a	9,25 $\pm$ 3,10 b
Pré-pupa		1,00 $\pm$ 0,00 a	1,00 $\pm$ 0,00 a	-
Pupa		6,46 $\pm$ 0,12 a	7,39 $\pm$ 0,31 a	-

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). (-) Sem dados.

Tabela 3. Largura da cápsula cefálica (CC) e razão de crescimento (RC) do primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ínstaes, peso de pupas e razão sexual de *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae) a $25 \pm 1^\circ \text{C}$, umidade relativa de $60 \pm 10\%$ e fotófase de 12 horas, com folhas de algodão na testemunha e com a aplicação de 150 (300 kg de Si.ha⁻¹) (T2) e 300 (600 kg de Si.ha⁻¹) (T3) mg kg⁻¹ de solo.

Instar/Estágio	Tratamentos (Dose (mg kg ⁻¹))					
	0		150		300	
	CC	RC	CC	RC	CC	RC
Primeiro	0,29 ± 0,00 aE	-	0,28 ± 0,00 bE	-	0,25 ± 0,00 cE	-
Segundo	0,39 ± 0,00 aD	1,34	0,37 ± 0,00 bD	1,36	0,35 ± 0,00 cD	1,40
Terceiro	0,59 ± 0,00 aC	1,51	0,57 ± 0,00 bC	1,51	0,52 ± 0,00 cC	1,48
Quarto	0,79 ± 0,00 aB	1,33	0,76 ± 0,00 bB	1,35	0,71 ± 0,00 cB	1,36
Quinto	1,18 ± 0,00 aA	1,50	1,17 ± 0,01 aA	1,53	1,06 ± 0,00 bA	1,49
ȲRC	-	1,42 a	-	1,44 a	-	1,43 a
Peso Pupal	0,18 ± 0,00 a		0,15 ± 0,00 b		-	
Razão sexual	0,54		0,36		-	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e letra maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). ȲRC: Razão de crescimento média. (-) Sem dados.

Tabela 4. Parâmetros reprodutivos (média $\pm$ erro padrão) de *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae) alimentada com folhas de algodão a $25 \pm 1^\circ$ C, umidade relativa de $60 \pm 10\%$ e fotófase de 12 horas na testemunha e com a aplicação de 150 (300 kg de Si.ha⁻¹) (T2) e 300 (600 kg de Si.ha⁻¹) (T3) mg kg⁻¹ de solo.

Parâmetros	Dose (mg kg ⁻¹)		
	0	150	300
Pré-oviposição	2,00 $\pm$ 0,00 b	3,00 $\pm$ 0,00 a	-
Oviposição	7,00 $\pm$ 0,00 a	7,00 $\pm$ 0,00 a	-
Pós-oviposição	1,80 $\pm$ 0,13 a	0,00 $\pm$ 0,00 b	-
Longevidade	10,80 $\pm$ 0,13 a	10,00 $\pm$ 0,00 b	-
Número de ovos por fêmea	726,00 $\pm$ 5,99 a	323,40 $\pm$ 2,84 b	-
Número de ovos por dia	103,71 $\pm$ 16,99 a	46,20 $\pm$ 5,29 b	-
Ovos viáveis	92,91 $\pm$ 0,53 a	70,41 $\pm$ 0,95 b	-

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), (-) Sem dados.

4. Capítulo II: Desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de *Spodoptera frugiperda*

(Lepidoptera: Noctuidae) em folhas de algodoeiro com diferentes doses de silício

4.1 RESUMO

Spodoptera frugiperda (Smith, 1792) (Lepidoptera: Noctuidae) representa uma das principais ameaças fitossanitárias à agricultura brasileira, particularmente devido à crescente seleção de populações resistentes aos inseticidas químicos e proteínas entomotóxicas do Bt comumente utilizadas em variedades transgênicas. Isto torna necessário desenvolver estratégias inovadoras e sustentáveis para manejar essa praga. O silício pode aumentar a resistência da planta hospedeira contra insetos herbívoros, o que pode levar à redução dos danos causados pela lagarta militar às lavouras de algodoeiro. Diante desse contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de *S. frugiperda* em folhas de algodoeiro com diferentes doses de silício. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três tratamentos distribuídos aleatoriamente em cada bloco e cinco repetições. Os tratamentos consistiram de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com pedaços de folhas de algodão coletadas de plantas sem silício (T1) ou fertilizadas com silício nas concentrações de 150 mg kg⁻¹ (300 kg de Si.ha⁻¹) (T2) e 300 mg kg⁻¹ de solo (600 kg de Si.ha⁻¹) (T3). Lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas de algodoeiros suplementadas com silício tiveram seu período larval reduzido, com padrão de crescimento irregular e desordenado. Mariposas fêmeas de *S. frugiperda* originadas de lagartas alimentadas com algodoeiros suplementados com silício tiveram seu período de oviposição, longevidade, número e viabilidade de ovos e de massas de ovos por fêmeas reduzidos. A análise multivariada identificou dois grupos distintos: a testemunha isolada e os tratamentos com 150 e 300 mg Kg⁻¹ de silício. A distância euclidiana entre as doses 150 e 300 mg Kg⁻¹ foi pequena em relação à testemunha. Isso indica um efeito em múltiplas variáveis reprodutivas das doses de Silício em *S. frugiperda*. Tais resultados confirmam que o silício prejudica, principalmente, o sucesso reprodutivo de *S. frugiperda*, o que pode ser uma estratégia de controle bastante útil no manejo desse lepidóptero-praga.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*; lagarta-do-cartucho; proteção de plantas; silicato de potássio.

4.2 ABSTRACT

Spodoptera frugiperda (Smith, 1792) (Lepidoptera: Noctuidae) represents one of the main phytosanitary threats to Brazilian agriculture, particularly due to the increasing selection of populations resistant to chemical insecticides and entomotoxic Bt proteins commonly used in transgenic varieties. This necessitates the development of innovative and sustainable strategies to combat this pest. Silicon can increase host plant resistance against herbivorous insects, potentially leading to reduced damage caused by the fall armyworm to cotton crops. Given this context, the objective of this research was to evaluate the development, survival, and reproduction of *S. frugiperda* on cotton leaves treated with different silicon doses. The experimental design was a randomized complete block design, with three treatments randomly assigned to each block and five replicates. The treatments consisted of *S. frugiperda* larvae fed on cotton leaf fragments collected from plants without silicon (T1) or fertilized with silicon at concentrations of 150 mg kg⁻¹ (300 kg Si.ha⁻¹) (T2) and 300 mg kg⁻¹ of soil (600 kg Si.ha⁻¹) (T3). *S. frugiperda* caterpillars fed on silicon-supplemented cotton leaves had a shortened larval period, with an irregular and disordered growth pattern. Female *S. frugiperda* moths hatched

from caterpillars fed on silicon-supplemented cotton plants had a reduced oviposition period, longevity, egg number, and viability, as well as a lower egg mass per female. Multivariate analysis identified two distinct groups: the isolated control and the treatments with 150 and 300 mg kg⁻¹ of silicon. The distance between the 150 and 300 mg kg⁻¹ doses was small compared to the control. This indicates an effect of silicon doses on multiple reproductive variables in *S. frugiperda*. These results confirm that silicon primarily impairs the reproductive success of *S. frugiperda*, suggesting that it may be a valuable control strategy for managing this lepidopteran pest.

Keywords: *Gossypium hirsutum*; fall armyworm; plant protection; potassium silicate.

4.3 INTRODUÇÃO

Spodoptera frugiperda (Smith, 1792) (Lepidoptera: Noctuidae), popularmente conhecida como lagarta militar, representa atualmente uma das principais ameaças fitossanitárias à agricultura brasileira, devido ao seu comportamento polífago, elevada capacidade reprodutiva e notável adaptabilidade a diferentes condições ambientais (Burtet et al., 2017). Essa praga tem causado severos prejuízos a diversas espécies vegetais de importância agrícola, dada sua ampla distribuição geográfica e facilidade de dispersão, principalmente, entre as lavouras de algodão, milho e soja, do Cerrado brasileiro, o que favorece infestações recorrentes, dificultando seu manejo (Montezano et al., 2018; Akhtar et al., 2023).

O hábito polífago de *S. frugiperda* têm implicações diretas no cultivo do algodoeiro, pois ao se alimentar de uma ampla variedade de hospedeiros, a praga se mantém ativa durante todo o ano, migrando entre diferentes culturas, o que favorece a intensificação dos danos nas lavouras de algodão, mesmo fora do período crítico de desenvolvimento da cultura (Ramos et al., 2022). No algodoeiro, *S. frugiperda* pode atacar diversas partes da planta — como folhas, botões florais e maçãs — em diferentes estágios de desenvolvimento, comprometendo o crescimento vegetativo, reduzindo o potencial produtivo e afetando diretamente a qualidade da fibra (Ramos et al., 2022; Schirmer et al., 2023). A persistência e amplitude de hospedeiros dificultam o controle biológico e químico de *S. frugiperda*, tornando seu manejo complexo e oneroso (Malaquias et al., 2021) particularmente, devido à crescente seleção de populações

resistentes aos inseticidas químicos e proteínas entomotóxicas do Bt, como a Cry1Ac, comumente utilizadas em variedades transgênicas (Malaquias et al., 2021). Além disso, o cultivo em áreas extensas e contínuas, aliado à sobreposição de safras e à proximidade com outras culturas hospedeiras, favorece a reinfestação e dificulta o controle localizado (Kumar e Bhandari, 2022). Diante dessas limitações, torna-se fundamental a adoção de estratégias inovadoras e sustentáveis, como a fertilização com silício, integrada a práticas de manejo cultural (Kumar e Bhandari, 2022; Ahmad et al., 2024).

A aplicação de silício via solo tem merecido atenção como estratégia eficiente e sustentável no manejo de *S. frugiperda*, especialmente em culturas de grande importância econômica como o algodoeiro (Haq et al., 2021). Quando fornecido ao solo, o silício é absorvido pelas raízes e translocado para os tecidos da planta, onde se deposita sob a forma de dióxido de silício (SiO_2), promovendo o endurecimento das estruturas vegetais e ativando mecanismos de defesa química e física contra insetos herbívoros (Islam et al., 2025). Esse modo de aplicação do silício, embora favoreça sua distribuição uniforme e duradoura na planta, conferindo proteção contínua contra o ataque de pragas, tem sido pouco utilizado, devido à resposta mais rápida da planta à aplicação foliar desse elemento (Reynolds et al., 2016; Bakhat et al., 2018; Bathoova et al., 2025). Isto evidencia a necessidade de se desenvolver pesquisas para avaliar a eficiência do silício aplicado via solo, em programas de manejo integrado da lagarta militar (Silva et al., 2010; Rizwan et al., 2021; Haq et al., 2023).

A contextualização apresentada motivou a condução da presente pesquisa, na qual o seu objetivo geral foi avaliar o desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de *S. frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) em folhas de algodoeiro com diferentes doses de silício. A hipótese testada neste estudo é que os níveis de silício encontrados nas folhas do algodoeiro resultantes de aplicações desse elemento via solo influenciam de maneira variável o desenvolvimento, a sobrevivência e a reprodução de *S. frugiperda*.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Local do estudo

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação (7° 13' 31" S latitude e 35° 54' 18" W longitude) e no Laboratório de Entomologia (7° 13 '32" S latitude e 35° 54'19" W longitude) da Embrapa Algodão no município de Campina Grande, Paraíba, Brasil.

4.4.2 Insetos, material vegetal e solo

Os espécimes de *S. frugiperda* foram obtidos das colônias de criação deste inseto no laboratório de entomologia da Embrapa Algodão, onde as lagartas são alimentadas com dieta artificial à base de gérmen de trigo e caseína (Shorey e Hale, 1965). Sementes de algodoeiro (cultivar BRS 286) para plantio em casa de vegetação foram obtidas do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Embrapa Algodão. O solo, classificado como Neossolo Regolítico eutrófico (Santos et al., 2018) foi coletado à 0-20 cm de profundidade em uma área de 4m² mantida em pousio por mais de 10 anos no campo experimental da Embrapa Algodão. Amostras de solo foram analisadas no laboratório de fertilidade do solo da Embrapa e corrigidas conforme recomendado para o cultivo de algodão (Borin et al., 2014), porém sem adição de potássio. Este macronutriente foi posteriormente aplicado ao solo na forma de silicato de potássio para não afetar os tratamentos.

4.4.3 Bioensaios de biologia

Sementes de algodão foram plantadas em 30 vasos plásticos de 5 litros preenchidos com solo da área em pousio devidamente corrigidos e fertilizados manualmente com silício, a correção foi realizada aplicando-se 20 ml da solução de correção e adubação por vaso. O silício foi aplicado na forma de silicato de potássio utilizando o produto comercial Flex Silício® (12% Silício (165,60 g/L), 12% Potássio (165,60g/L)). Após a germinação, as plantas foram

desbastadas deixando três plantas por vaso, sendo as folhas coletadas a partir dos 30 dias após a emergência e início do bioensaio.

No laboratório, ovos de *S. frugiperda* foram obtidos da criação estoque, separados em grupos por tratamento em placas de Pétri, medindo 10 cm × 0,9 cm de diâmetro e altura, respectivamente, e forrada com papel de filtro até a eclosão. Após a eclosão, as lagartas foram transferidas para bandejas plásticas contendo 16 células (dimensões de cada poço: 5,5 cm de comprimento × 2,5cm largura x 2,5 cm altura). As lagartas foram individualizadas em cada célula e distribuídas para os respectivos tratamentos (folhas de plantas tratadas com silício e folhas sem adubação de silício).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três tratamentos distribuídos aleatoriamente em cada bloco e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas de algodão coletadas de plantas sem silício (T1) ou fertilizadas com silício nas concentrações de 150 mg kg⁻¹ (300 kg de Si.ha⁻¹) (T2) e 300 mg kg⁻¹ de solo (600 kg de Si.ha⁻¹) (T3). Cada repetição constou de 12 larvas individualizadas por tratamento, totalizando 48 larvas. Os blocos foram considerados como as diferentes prateleiras da câmara climatizada para reduzir o efeito de qualquer possível gradiente de temperatura interna de cima para baixo. O baixo teor de Si no solo em pousio foi desconsiderado, pois estava presente em todos os tratamentos.

As lagartas de *S. frugiperda* foram alimentadas "*ad libitum*" com discos de folhas de algodoeiro, medindo 2 cm de diâmetro e provenientes dos diferentes tratamentos. Os discos de folhas foram repostos a cada dois dias ou sempre que totalmente consumidos pelas lagartas. Os poços foram fechados por tampas plásticas com as mesmas dimensões dos poços e mantidos em câmara climatizada, a 25 °C, 60 ± 10% de umidade relativa e fotoperíodo de 12 horas até o término das observações.

Foram avaliadas as durações e as sobrevivências do período larval e dos primeiro, segundo, terceiro e quarto instares, pré-pupa, pupa e as características reprodutivas (períodos de pré-oviposição, oviposição e pós-oviposição, longevidade e períodos de incubação, fecundidade, número de ovos e ovos viáveis). As pupas deste inseto foram pesadas em uma balança analítica AY220 (Shimadzu Corporation, Columbia, MD, EUA) com precisão de 0,0001g, separadas por sexo e mantidas em gaiolas de PVC até a emergência dos adultos. A razão sexual foi calculada como a divisão do número de fêmeas pelo número total de machos e fêmeas. Dez casais de *S. frugiperda* foram selecionados e mantidos nas gaiolas para acasalamento e postura. Em cada gaiola, foi mantido um único casal alimentado com solução de mel a 10% até o final do ciclo biológico.

As observações biológicas foram realizadas duas vezes ao dia, sempre às 8:00 e às 14:00, com auxílio de um estereomicroscópio EL224 (BEL Engineering, Monza, Milano, Itália) com ampliação de 20 vezes, até o final do ciclo biológico. As medições da cápsula cefálica foram feitas com auxílio do software *Image J* versão 1.53s (Rasband, IL, USA. US National Institutes of Health; Bethesda, MD, USA), utilizando imagens de lagartas imobilizadas com pinça cirúrgica e pincel, 24 horas após à ecdise.

4.4.4 Determinação do teor de silício nas folhas do algodoeiro

A determinação do teor de silício nas folhas do algodoeiro foi realizada conforme metodologia descrita por Silva et al. (2009), como segue:

Trinta dias após a emergência, uma folha de todas as plantas de algodão tratadas e não tratadas foram colhidas, lavadas cuidadosamente com solução detergente a 0,2%, enxaguadas duas vezes com água deionizada para remover possíveis contaminantes e secas em papel toalha. As folhas das plantas de algodão foram então colocadas em sacos de papel e secadas em estufa com circulação forçada de ar à 70 °C por 72 horas, trituradas em moinho do tipo Wiley, passadas

em peneiras de malha 1,0 mm (20 mesh) e finalmente armazenadas em sacos plásticos para subsequente análise química.

Amostras de folhas trituradas (500mg) foram transferidas para cadinhos de porcelana e secas em mufla elétrica. A temperatura da mufla foi ajustada gradativamente até atingir 500° C, sendo mantida nesta temperatura por 3 horas.

Após extração por digestão seca, 50 mL de solução de NaOH (1%) foi adicionada à cinza resultante da digestão e mantida em tubo de polietileno de 80 mL. Em seguida, 2 mL dessa solução foi pipetada, misturada à 18 mL de água destilada, transferindo 5mL para um recipiente plástico de 50 mL. Após transferência, foi adicionado 1,0 mL de molibdato à 1,0 %, 1,0 mL de ácido oxálico à 2 %, 1,0 mL de H₂SO₄ 1,5 M e 0,03g de ácido ascórbico à essa solução, que foi mantida por 20 minutos em reação, antes de efetuar a leitura em espectrofotômetro (660nm). A concentração de silício no tecido foliar foi calculada usando a seguinte equação: $\text{Si g kg}^{-1} = \text{mg L}^{-1} \times 1,0$

4.4.5 Análise dos dados

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Lilliefors, antes de serem submetidos às análises estatísticas paramétricas e não paramétricas. Os dados de sobrevivência e duração dos estágios imaturos, peso da pupa, largura da cápsula cefálica e taxa de crescimento de *S. frugiperda* foram transformados, quando necessário, pela raiz quadrada de $x + 0,5$ para melhorar a normalidade antes da análise. Dados normalmente distribuídos não foram transformados. Os dados foram analisados por ANOVA em $P \leq 0,05$. A significância média foi separada pelo teste de Tukey. As análises mencionadas foram realizadas usando o sistema de análise estatística e genética (SAEG). Para o conjunto de variáveis relacionadas à duração do período de pré-oviposição, oviposição e pós-oviposição foi adotado um modelo linear generalizado com distribuição Gama inverso. Enquanto a quantidade de ovos por fêmeas foi analisada com um modelo quase poisson. Por último, a viabilidade de ovos foi analisada com

uma distribuição quase binomial. A qualidade do ajuste dos modelos aos dados foi dada por um envelope simulado meio normal. Os tratamentos foram comparados por contrastes gerados dentro de cada modelo utilizado. Adicionalmente, um modelo não supervisionado de aprendizado de máquina foi utilizado para uma análise de cluster não hierárquica, utilizando o método k means. Esse outro conjunto de análises foi analisado no ambiente R (R Core Team, 2025).

4.5 RESULTADOS

O teor de Si no solo de pousio, antes da adubação com esse micronutriente, foi de 17,4 mg kg⁻¹. Após a aplicação de silício, observaram-se aumentos significativos nos teores do elemento tanto no solo ($F_{2,27} = 40,75$; $P < 0,01$) quanto nas folhas das plantas de algodoeiro ($F_{2,38} = 149,70$; $P < 0,01$) (Figura 1). As maiores concentrações de Si nas folhas foram registradas nas plantas adubadas com 300 mg kg⁻¹, alcançando $608,52 \pm 43,59$ mg kg⁻¹, seguidas pelas plantas tratadas com 150 mg kg⁻¹, que apresentaram $187,93 \pm 5,63$ mg kg⁻¹. As menores concentrações foram observadas na testemunha, sem adubação, com $77,80 \pm 10,56$ mg kg⁻¹ de Si.

A sobrevivência dos estágios larval e dos primeiro, segundo, quarto, quinto e sexto instares, pré-pupa e pupa, não diferiram entre os tratamentos. A única exceção foi no terceiro instar, em que a dose de 150 mg kg⁻¹ resultou em menor sobrevivência (89,20%), sendo inferior ao controle (Tabela 1).

Os períodos de desenvolvimento dos três primeiros instares e do sexto de *S. frugiperda* foram semelhantes para todos os tratamentos, mas nas de quarto e quinto instares, esse período foi semelhante apenas nas plantas tratadas com 150 e 300 mg kg⁻¹, sendo ambos menores que a testemunha. O período de desenvolvimento larval diminuiu com o aumento da dose de silício, sendo maior na testemunha, seguido pela dose intermediária (150 mg kg⁻¹) e menor na dose

300 mg kg⁻¹. Por outro lado, os períodos de desenvolvimento dos estágios de pré-pupa e pupa não diferiram entre os tratamentos.

Com exceção do terceiro instar, as larguras das cápsulas cefálicas dos demais instares reduziram com o aumento da dose de silício para todos os tratamentos (Tabela 3). No terceiro instar, a largura da cápsula cefálica foi semelhante nas doses, intermediária e de 300 mg kg⁻¹ de Si, porém, sendo ambas menores que a testemunha. A razão de crescimento das larguras da cápsula cefálica de *S. frugiperda* com folhas de algodoeiro sem fertilização com Si (testemunha) se adequaram a regra de Dyar, mas as demais, fertilizadas com Si, seguiram um padrão de crescimento irregular e desordenado do primeiro para o sexto ínstar.

O peso corporal das pupas e a razão sexual de *S. frugiperda* foram semelhantes entre os tratamentos (Tabela 3). O período de pré-oviposição foi maior nos tratamentos com silício e menor na testemunha (Figura 2). O período de oviposição foi maior na testemunha e menor na dose maior de Si (Figura 3), a longevidade (Figura 5) e os números de ovos e de massa de ovos por fêmea (Figura 6) foram semelhantes e menores nos tratamentos com silício e testemunha, respectivamente. No entanto, o número de ovos por dia e o de ovos por massa não diferiram entre os tratamentos, mas a viabilidade dos ovos, em comparação ao controle, reduziu com o aumento das doses de silício (Figura 7).

Em uma perspectiva multivariada foi possível evidenciar a presença de dois grupos. O algoritmo de aprendizado de máquina não supervisionado evidenciou a clara ocorrência de dois grupos, sendo o primeiro constituído apenas da testemunha, e o segundo formado pelos tratamentos 150 e 300 mg Kg⁻¹ (Tabela 5). A distância euclidiana entre as doses do silício de 150 e 300 mg Kg⁻¹ foi baixa, se comparada à distância desses tratamentos com o tratamento testemunha. Tal resultado evidencia um efeito em múltiplas variáveis reprodutivas das doses de Silício em *S. frugiperda*.

4.6 DISCUSSÃO

O teor de Si de $17,4 \text{ mg kg}^{-1}$ no solo em pousio, antes da fertilização, indica que este elemento se encontrava no solo, embora em baixos níveis disponíveis para as plantas (Liang et al., 2015) e na forma cristalina como mineral insolúvel (Perdomo et al., 2022). Os maiores teores de silício nas folhas de algodoeiros fertilizados via solo com 150 e 300 mg kg^{-1} de Si se comparado a testemunha, podem ser atribuídos à sua rápida assimilação e acúmulo nas folhas do algodão, como H_4SiO_4 (ácido silícico), pela polimerização de silicatos nas células epidérmicas formando uma dupla camada de silício-cutícula (Sakr, 2017; Silva et al., 2023). Essa absorção de Si, aplicado como silicato de potássio, é maior em solos arenosos com valores deste elemento inferiores a 18 mg kg^{-1} (Korndörfer et al., 2001; EL-Sayed et al., 2019), como o da área em pousio (Neossolo Regolítico Eutrófico).

Excetuando o terceiro instar, a sobrevivência dos estágios larval e dos primeiro, segundo, quarto, quinto e sexto instares, pré-pupa e pupa de *S. frugiperda* nas diferentes doses de silício aplicadas via solo não foram afetadas, o que pode indicar que o efeito prejudicial desse elemento nas folhas do algodoeiro pode variar com seu instar de desenvolvimento. Lagartas de *S. frugiperda* apresentam hábitos alimentares específicos por instar, com larvas mais jovens geralmente se alimentam da face adaxial das folhas do algodoeiro, menos espessa devido ao menor acúmulo de silício (Silva et al., 2023). Por outro lado, larvas de terceiro instar de *S. frugiperda* com aparelho bucal mais desenvolvido, ao se alimentarem acabam por consumir tecidos foliares mais espessos devido ao acúmulo de silício, causando desgaste nas suas mandíbulas e, conseqüentemente, redução na sobrevivência (Haq et al., 2022). Além disso, o terceiro instar de *S. frugiperda* é um período de alimentação intensa e rápido crescimento, tornando as larvas mais vulneráveis aos efeitos acumulativos desse elemento (Silva et al., 2017; Ramos et al., 2022). O silício também induz a produção de compostos de defesa, como fenóis e lignina, que reduzem a eficiência nutricional e inibem o desenvolvimento larval (Reynolds et

al., 2020). Dessa forma, a menor sobrevivência do terceiro instar pode ser explicada pelo efeito prejudicial combinado de barreiras físicas e químicas contra esse inseto, o que evidencia o potencial do silício como ferramenta estratégica no manejo de pragas (Perdomo et al., 2022).

Os períodos semelhantes de desenvolvimento dos três primeiros instares de *S. frugiperda*, indicam que eles não foram afetados pelos tratamentos com silício, o que pode estar relacionado ao menor consumo foliar dessas lagartas jovens e, conseqüentemente, menor exposição aos tecidos abrasivos das folhas com silício. Por outro lado, os menores períodos de desenvolvimento dos, quarto e quinto instares de *S. frugiperda* se deve, provavelmente, a maior ingestão de nitrogênio por essas lagartas, ao consumirem tecidos foliares de algodoeiros fertilizados com silício, pois esse elemento melhora a absorção de nitrogênio pelas plantas (Moise et al., 2019). Assim, essa maior disponibilidade de nitrogênio nas plantas de algodão tratadas com silício, pode acelerar o crescimento, encurtando o tempo de desenvolvimento larval, especialmente dos últimos instares. Enquanto o período semelhante do último instar (sexto instar) de *S. frugiperda* entre tratamentos, pode indicar que essas lagartas acumularam reservas suficientes para formação das pupas, apresentando maior resiliência aos efeitos mecânicos e químicos induzidos pelo silício (Reynolds et al., 2021). O encurtamento do período larval de *S. frugiperda* alimentada com folhas com teores intermediário e elevados de silício, não era esperado, porque, normalmente, a ingestão desse elemento incorporado a dieta tende a aumentar o período larval como resposta compensatória a sua baixa qualidade nutricional ou maior abrasividade foliar (Moise et al., 2019). Segundo Moise et al. (2019), esse tipo de compensação por encurtamento do período larval pode ser atribuído, pelo menos em parte, ao aumento da digestibilidade e da eficiência de assimilação de N nas plantas tratadas com Si, fenômeno que é consistente com relatos de outros lepidópteros, incluindo *S. frugiperda* (Nabity et al., 2012), e pode estar associado ao aumento da atividade enzimática do aparelho digestório dessas lagartas (Hocking; Depner, 1961). Por outro lado, isto pode ser vantajoso para o manejo

de *S. frugiperda*, por reduzir o período de exposição das plantas aos danos causados pelas lagartas (Nascimento et al., 2018).

O aumento crescente da largura da cápsula cefálica de *S. frugiperda* do primeiro para o sexto instar em todos os tratamentos, sugere que o silício (Si) não influencia o número de estágios de muda ou o crescimento geral dessa parte do corpo altamente esclerotizada nas lagartas (Ramos et al., 2022). Por outro lado, o crescimento anormal da capsula cefálica de *S. frugiperda*, evidenciada pela razão de crescimento das lagartas alimentadas com folhas de algodoeiro enriquecidas com silício, pode ser atribuído aos efeitos negativos da alimentação e ingestão desse elemento, o que pode ser uma estratégia eficaz para o controle de *S. frugiperda* (Perdomo et al., 2022; Ramos et al., 2022).

O peso corporal das pupas e a razão sexual semelhante de *S. frugiperda* entre os tratamentos indicam que o silício não afetou esses parâmetros, o que pode estar relacionado a resposta compensatória dessas lagartas, ajustando sua alimentação ou metabolismo para neutralizar os efeitos negativos desse elemento (Haq et al., 2021; Perdomo et al., 2022).

O maior período de pré-oviposição de fêmeas de *S. frugiperda* na maior dose de silício, indica que a fertilização do algodoeiro com esse elemento via solo pode prejudicar o sucesso reprodutivo deste inseto, pois é nesse período que as mariposas fêmeas se preparam para a postura dos ovos, realizando a maturação dos órgãos reprodutivos, buscando locais adequados para a oviposição e acumulando reservas energéticas (Baikar; Naik, 2016). Os menores períodos de oviposição, longevidade, números de ovos e de massa de ovos por mariposas fêmeas de *S. frugiperda* originadas de lagartas alimentadas com algodoeiros de ambos os tratamentos com silício se comparado a testemunha, confirmam que o silício afeta negativamente o sucesso reprodutivo do inseto, provavelmente, levando a uma diminuição no crescimento populacional, o que pode ser uma estratégia de controle bastante útil no manejo desse lepidóptero-praga (Haq et al., 2021; Ghafar et al., 2025).

Por outro lado, os números semelhantes de ovos por dia e de ovos por massa de postura, sugerem que a suplementação de algodoeiros com silício não altere essas características reprodutivas das mariposas fêmeas de *S. frugiperda*. É provável, portanto, que estas características reprodutivas de *S. frugiperda* não seja influenciada apenas pela dieta, mas por uma combinação de predisposição genética e fatores ambientais (Silva et al., 2017). No entanto, a redução na viabilidade dos ovos de mariposas de *S. frugiperda* originadas de lagartas alimentadas com folhas de algodoeiros suplementados com silício, confirma que esse elemento afeta negativamente o sucesso reprodutivo deste inseto.

4.7 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, evidenciou-se que o período larval de *S. frugiperda* alimentadas com folhas de algodoeiros suplementadas com silício é encurtado, o que pode ser vantajoso para o manejo desse inseto, por reduzir o período de exposição das plantas aos danos causados pelas lagartas. O aumento crescente da largura da cápsula cefálica de *S. frugiperda* do primeiro para o sexto instar em todos os tratamentos, sugere que o silício (Si) não influencia o número de estágios de muda. No entanto, o padrão de crescimento irregular e desordenado da razão de crescimento das lagartas alimentadas com folhas de algodoeiro enriquecidas com silício, pode ser atribuído aos efeitos negativos desse elemento. O peso corporal das pupas e a razão sexual de *S. frugiperda* originadas de lagartas alimentadas com folhas de algodoeiro enriquecidas com silício não são afetados por esse elemento, mas o prolongamento do período de pré-oviposição pode prejudicar o sucesso reprodutivo deste inseto. Mariposas fêmeas de *S. frugiperda* originadas de lagartas alimentadas com algodoeiros suplementados com silício têm seu período de oviposição, longevidade, número e viabilidade de ovos e de massa de ovos por fêmeas reduzido. Tais resultados confirmam que o silício prejudica, principalmente, o sucesso reprodutivo de *S. frugiperda*, o que pode ser uma estratégia de controle bastante útil no manejo desse lepidóptero-praga.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, W.; COFFMAN, L.; WEERASOORIYA, A. D.; CRAWFORD, K.; KHAN, A. The silicon regulates microbiome diversity and plant defenses during cold stress in *Glycine max* L. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1280251, 2024.
- AKHTAR, S.; FAROOQ, F.; IFTIKHAR, R.; DIN, N.; ASHRAF, M.; ZAHID, A. Population fluctuations of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and physiomorphic characterization of maize varieties cultivated under field conditions in Punjab-Pakistan. **Pakistan Journal of Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 356-364, 2023.
- BAIKAR, A. A.; NAIK, K. V. Biology of fruit borer, *Helicoverpa armigera* (Hubner) on chilli under laboratory conditions. **Plant Archives**, v. 16, n. 2, p. 761-769, 2016.
- BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21-34, 2018.
- BATHOOVA, M.; SVUBOVA, R.; GIMES, L.; KOSTOLANI, D.; SLOVAKOVA, L.; MARTINKA, M. The potential of silicon in crop protection against phloem feeding and chewing insect pests – a review. **Journal of Experimental Botany**, eraf102, 2025.
- BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S. **Adubação do algodoeiro no ambiente de cerrado**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2014.
- BURTET, L. M.; BERNARDI, O.; MELO, A. A.; PES, M. P.; STRAHL, T. T.; GUEDES, J. V. Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in southern Brazil. **Pest Management Science**, v. 73, n. 12, p. 2569-2577, 2017.
- EL-SAYED, A. A.; ABOU SEEDA, M. A.; YASSEN, A. A.; ZAGHLOUL, S. M.; KHATE, A. Silicon in soils, plants and its important role in crop production: a review. **Middle East Journal of Agriculture Research**, v. 8, n. 4, p. 983-1004, 2019.
- GHAJAR, M. A.; FENG, Q.; HAQ, I. U.; HYDER, M.; SUFAN, M.; ABBAS, D.; HAIDER, K.; KHALID, M. L.; AKHTAR, M. R.; WANG, L.; IQBAL, R.; ALKUBAIS, N.; ELSHIKH, M. S. Impact of silicon-based treatments on the demographic traits of *Spodoptera frugiperda* in maize. **Journal of Crop Health**, v. 77, p. 119, 2025.
- HAQ, I. U.; KHURSHID, A.; INAYAT, R.; ZHANG, K.; LIU, C.; ALI, S.; ZUAN, A. T. K.; AL-HASHIMI, A.; ABBASI, A. M. Silicon-based induced resistance in maize against fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)]. **PLoS One**, v. 16, n. 11, p. e0259749, 2021.
- HAQ, I. U.; ZHANG, K.; ALI, S.; MAJID, M.; ASHRAF, H. J.; KHURSHID, A.; INAYAT, R.; LI, C.; GOU, Y.; AL-GHAMDI, A. A.; ELSHIKH, M. S.; KUBIK, S.; LIU, C. Effectiveness of silicon on immature stages of the fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)]. **Journal of King Saud University – Science**, v. 34, n. 6, p. 102152, 2022.
- HAQ, I. U.; IDREES, A.; ABBASI, A.; ALI, S.; ASAD, M.; LI, C.; LIU, C.-Z.; ZHANG, K.-X.; YASIN, M.; ASGHAR, M. A.; IQBAL, J. Silicon accumulation in maize and its effects on

demographical traits of fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)]. **Silicon**, v. 15, n. 7, p. 3269-3281, 2023.

HOCKING, B.; DEPNER, K. R. Larval nutrition in *Agrotis orthogonia* (Lepidoptera: Phalaenidae): digestive enzymes. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 54, n. 1, p. 86-89, 1961.

ISLAM, T.; BROWN, M. S.; KOPPENHÖFER, A. M. Harnessing plant silicon defenses for biological control of herbivorous insects. **Trends in Plant Science**, 2025.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; UCHOA; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 7, p. 1071-1084, 2001.

KUMAR, S.; BHANDARI, D. Silicon: As a potential source to pests management. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 42, n. 5, p. 3221-3234, 2022.

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. Silicon and insect pest resistance. In: LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. (eds.). *Silicon in agriculture, from theory to practice*. Dordrecht: **Springer**, 2015. p. 197–207.

MALAKUIAS, J. B.; GODOY, W. A. C.; CAPRIO, M. A.; PACHU, J. K. D. S.; DE SOUSA RAMALHO, F.; OMOTO, C.; FERREIRA, C. P. Evolutionary process modeling with Bayesian inference of *Spodoptera frugiperda* ballooning and walking dispersal in Bt and non-Bt cotton plant mixtures. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 169, n. 8, p. 721-731, 2021.

MOISE, E. R. D.; MCNEIL, J. N.; HARTLEY, S. E.; HENRY, H. A. L. Plant silicon effects on insect feeding dynamics are influenced by plant nitrogen availability. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 167, p. 91–97, 2019.

MONTEZANO, D. G.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; SPECHT, A.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, p. 286–300, 2018.

NABITY, P. D.; ORPET, R.; MIRESMALLI, S.; BERENBAUM, M. R.; DELUCIA, E. H. Silica and nitrogen modulate physical defense against chewing insect herbivores in bioenergy crops *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* (Poaceae). **Journal of Economic Entomology**, v. 105, p. 878–883, 2012.

NASCIMENTO, A. M.; ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; SOUZA, B. H. S. Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). **Journal of Applied Entomology**, v. 142, p. 241–249, 2018.

PERDOMO, D. N.; RODRIGUES, A. A. R.; SAMPAIO, M. V.; CELOTTO, F. J.; MENDES, S. M.; PEREIRA, H. S.; LIMA, D. T.; REZENDE, G. F. Increase in foliar silicon content reduces defoliation by *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. **Bragantia**, v. 81, p. e2522, 2022.

- RAMOS, R. S.; SILVA, C. A. D.; LIMA, T. A.; ALBUQUERQUE JUNIOR, P. S.; CASTELLANI, M. A.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Development, survival and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed an artificial diet or on cotton, castor bean and corn leaves. **Insects**, v. 13, p. 428, 2022.
- REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. 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.
- REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Impact of silicon nutrition on insect pest resistance and plant defense mechanisms: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 10, p. 1437–1455, 2021.
- REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1–15, 2020.
- RIZWAN, M.; ATTA, B.; RIZWAN, M.; SABIR, A. M.; TAHIR, M.; SABAR, M.; ALI, M.; ALI, M. Y. Silicon plays an effective role in integrated pest management against rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **Pakistan Journal of Zoology**, v. 54, n. 2, p. 569–575, 2021.
- SAKR, N. The role of silicon (Si) in increasing plant resistance against insect pests: review article. **Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica**, v. 52, n. 2, p. 185–204, 2017.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.
- SCHIRMER, F. G.; FAVETTI, B. M.; CLARK, T.; GALVAN, T.; CORDEIRO, E. M. G.; VIVAN, L.; TRAN, K.; BROMS, K.; MIRANDA, R. Supressão de acasalamentos e redução de danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) no algodoeiro. **Entomological Communications**, v. 5, p. ec05026, 2023.
- SHOREY, H. H.; HALE, R. L. Mass-rearing of the larvae of nine noctuid species on a simple artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 58, n. 3, p. 522–524, 1965.
- SILVA, D. M. D.; BUENO, A. D. F.; ANDRADE, K.; STECCA, C. D. S.; NEVES, P. M. O. J.; OLIVEIRA, M. C. N. D. Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 1, p. 18–31, 2017.
- SILVA, D. B.; PAIXÃO-DARUICHI, A. P.; VIEIRA, N. C. S.; MARTINS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E. Gas exchange and leaf anatomy of cotton subjected to application of calcium silicate and mepiquat chloride under water stress. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 29, n. 3, p. 221–226, 2023.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- SILVA, V. F.; MORAES, J. C.; MELO, B. A. Fontes de silício na indução de resistência a insetos-praga e no desenvolvimento de plantas de batata inglesa. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 149–156, 2010.

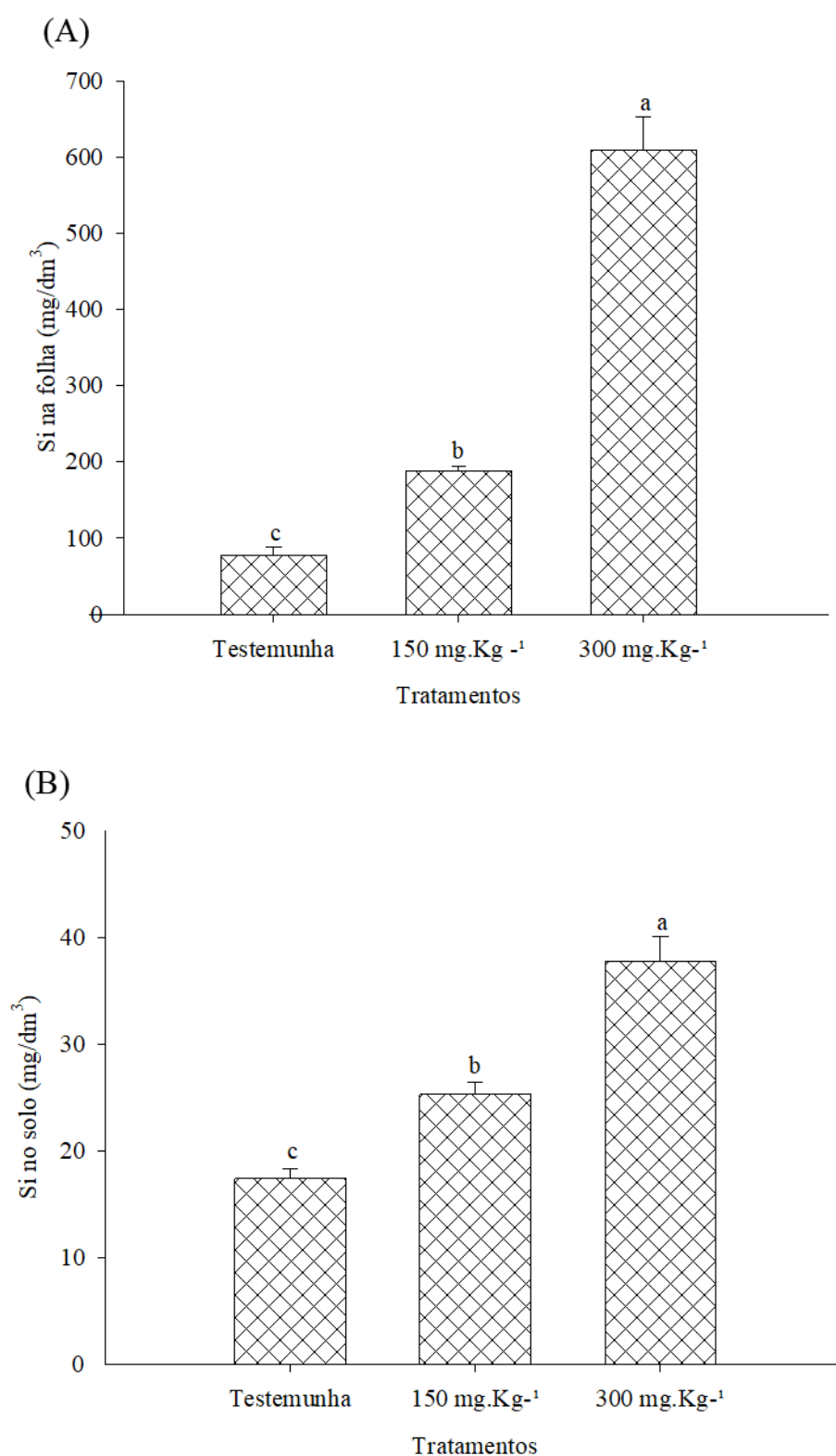


Fig. 1. Teor de silício (Si) na terceira folha expandida do algodoeiro (A) e no solo (B) nos tratamentos sem fertilização com silício (T1, controle) e com aplicação de 150 (300 kg de Si.ha⁻¹) (T2) e 300 (600 kg de Si.ha⁻¹) (T3) mg kg⁻¹ de solo.

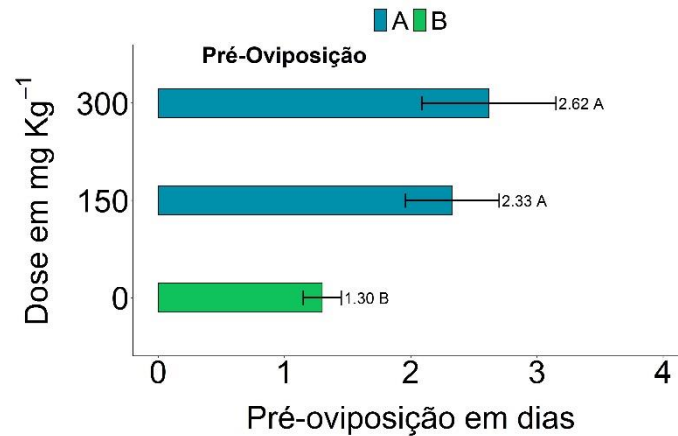


Fig. 2. Período de pré-oviposição de *Spodoptera frugiperda* (dias) alimentadas com folhas tratadas com diferentes doses de silício adicionadas ao solo. $F= 5,53$; $P= 0,0105$.

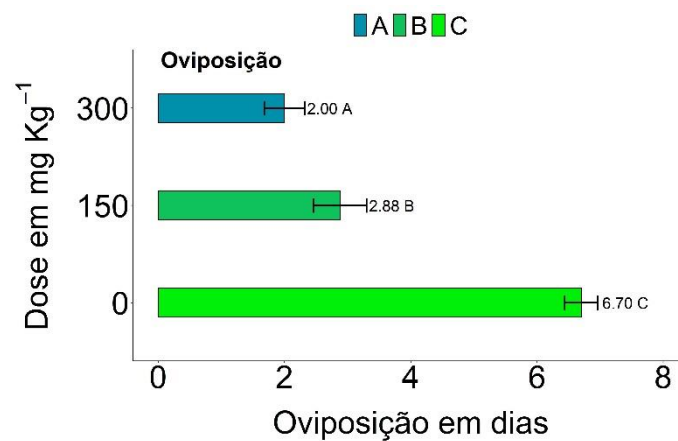


Fig. 3. Período de oviposição de *Spodoptera frugiperda* (dias) alimentadas com folhas tratadas com diferentes doses de silício adicionadas ao solo. $F= 26,90$; $P< 0,00001$.

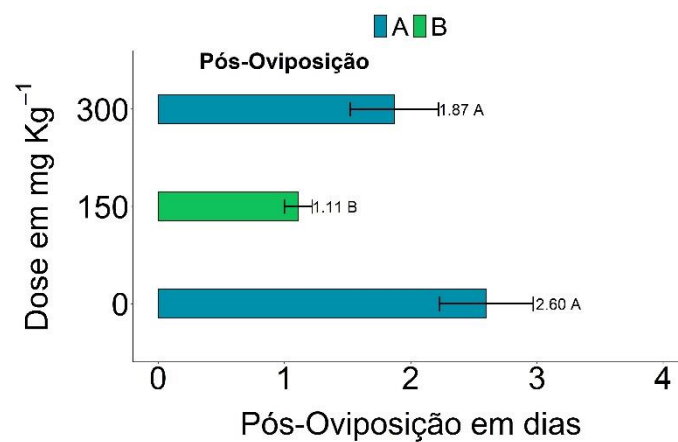


Fig. 4. Período de pós-oviposição de *Spodoptera frugiperda* (dias) alimentadas com folhas tratadas com diferentes doses de silício adicionadas ao solo. $F= 8.72$; $P= 0.0014$.

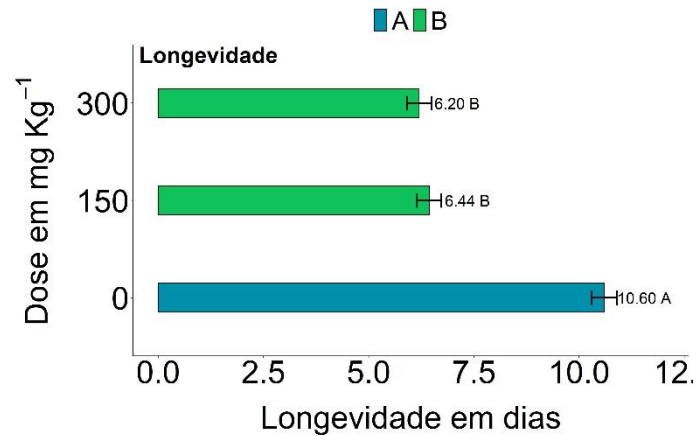


Fig. 5. Longevidade de *Spodoptera frugiperda* (dias) alimentadas com folhas tratadas com diferentes doses de silício adicionadas ao solo. $F= 56.70$; $P< 0.00001$.

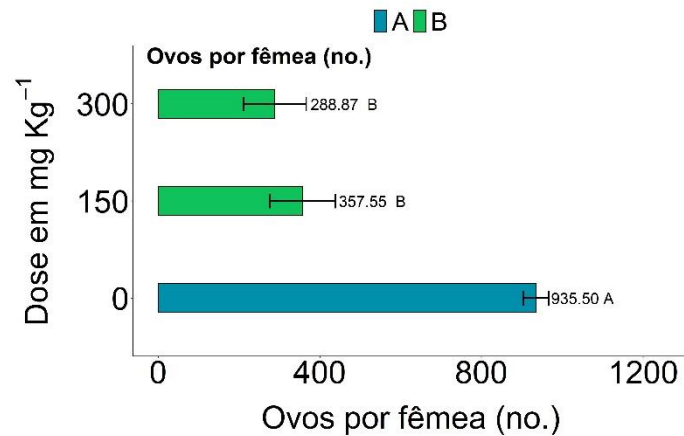


Fig. 6. Número de ovos por fêmea de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com folhas tratadas com diferentes doses de silício adicionadas ao solo. $F= 19.13$; $P< 0.00001$.

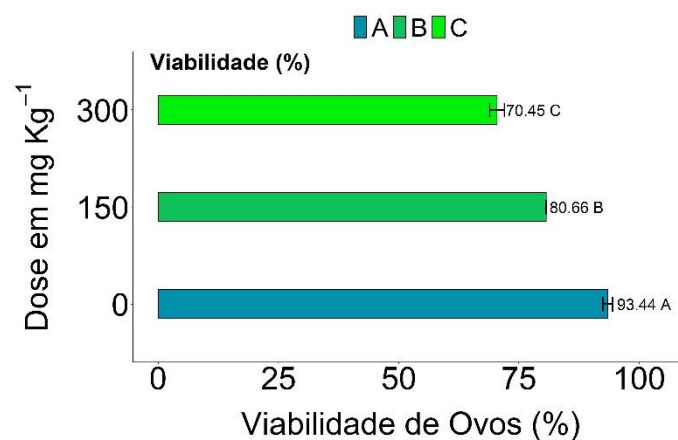


Fig. 7. Viabilidade de ovos de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com folhas tratadas com diferentes doses de silício adicionadas ao solo. $F= 72.35$; $P< 0.00001$.

Tabela 1. Sobrevivência (% , média $\pm$ erro padrão) do estágio de larva e do primeiro, segundo, terceiro, quarto, quinto e sexto instares, pré-pupa e pupa de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentada com folhas de algodoeiro sem fertilização com Si (testemunha) e com aplicação de 150 mg kg⁻¹ (T2) e 300 mg kg⁻¹ de solo (T3) desse elemento à 25 $\pm$ 1° C, umidade relativa de 60 $\pm$ 10% e fotófase de 12 horas.

Estágio	Instar	Dose (mg kg ⁻¹)		
		0,00	150	300
Larval		93,75 $\pm$ 6,25 a	85,42 $\pm$ 3,99 a	87,50 $\pm$ 7,22 a
	Primeiro	100,00 $\pm$ 0,00 a	100,00 $\pm$ 0,00 a	95,83 $\pm$ 4,17 a
	Segundo	95,83 $\pm$ 4,17 a	97,92 $\pm$ 2,08 a	100,00 $\pm$ 0,00 a
	Terceiro	100,00 $\pm$ 0,00 a	89,20 $\pm$ 2,46 b	97,50 $\pm$ 2,50 ab
	Quarto	97,50 $\pm$ 2,50 a	97,73 $\pm$ 2,28 a	95,83 $\pm$ 4,17 a
	Quinto	100,00 $\pm$ 0,00 a	100,00 $\pm$ 0,00 a	97,50 $\pm$ 2,50 a
	Sexto	100,00 $\pm$ 0,00 a	100,00 $\pm$ 0,00 a	100,00 $\pm$ 0,00 a
Pré-pupa		100,00 $\pm$ 0,00 a	97,73 $\pm$ 2,28 a	97,92 $\pm$ 2,08 a
Pupa		93,75 $\pm$ 6,25 a	97,50 $\pm$ 2,50 a	95,14 $\pm$ 2,86 a

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

Tabela 2. Período de desenvolvimento (dias, média $\pm$ erro padrão) do estágio de larva e do primeiro, segundo, terceiro, quarto, quinto e sexto instares, pré-pupa e pupa de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentada com folhas de algodoeiro sem fertilização com Si (testemunha) e com aplicação de 150 mg kg⁻¹ (T2) e 300 mg kg⁻¹ de solo (T3) desse elemento à 25 $\pm$ 1° C, umidade relativa de 60 $\pm$ 10% e fotófase de 12 horas.

Estágio	Instar	Dose (mg kg ⁻¹)		
		0,00	150	300
Larval		23,44 $\pm$ 0,05 a	21,58 $\pm$ 0,14 b	20,33 $\pm$ 0,32 c
	Primeiro	2,00 $\pm$ 0,00 a	2,00 $\pm$ 0,00 a	2,00 $\pm$ 0,00 a
	Segundo	3,38 $\pm$ 0,15 a	3,17 $\pm$ 0,07 a	2,90 $\pm$ 0,13 a
	Terceiro	3,02 $\pm$ 0,02 a	2,85 $\pm$ 0,03 a	2,98 $\pm$ 0,08 a
	Quarto	3,71 $\pm$ 0,13 a	3,10 $\pm$ 0,07 b	3,13 $\pm$ 0,09 b
	Quinto	5,24 $\pm$ 0,07 a	3,56 $\pm$ 0,15 b	3,69 $\pm$ 0,18 b
	Sexto	6,04 $\pm$ 0,08 a	6,63 $\pm$ 0,30 a	5,90 $\pm$ 0,11 a
Pré-pupa		1,00 $\pm$ 0,00 a	1,00 $\pm$ 0,00 a	1,00 $\pm$ 0,00 a
Pupa		8,13 $\pm$ 0,23 a	7,80 $\pm$ 0,34 a	8,43 $\pm$ 0,29 a

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

Tabela 3. Largura da cápsula cefálica (LCC), razão de crescimento (RC) do primeiro, segundo, terceiro, quarto, quinto e sexto instares, peso de pupas e razão sexual de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentada com folhas de algodoeiro sem fertilização com Si (testemunha) e com aplicação de 150 mg kg⁻¹ (T2) e 300 mg kg⁻¹ de solo (T3) desse elemento à 25 ± 1° C, umidade relativa de 60 ± 10% e fotófase de 12 horas.

Instar/Estágio	Tratamentos ((Dose (mg kg ⁻¹)))					
	0		150		300	
	LCC	RC	LCC	RC	LCC	RC
Primeiro	0,31 ± 0,00 aE	-	0,28 ± 0,00 bE	-	0,27 ± 0,00 cE	-
Segundo	0,39 ± 0,00 aD	1,28	0,37 ± 0,00 bD	1,33	0,36 ± 0,00 cD	1,32
Terceiro	0,51 ± 0,00 aC	1,30	0,47 ± 0,00 bC	1,28	0,47 ± 0,00 bC	1,28
Quarto	0,69 ± 0,00 aB	1,35	0,66 ± 0,00 bB	1,39	0,61 ± 0,00 cB	1,29
Quinto	0,94 ± 0,00 aB	1,36	0,85 ± 0,01 bA	1,30	0,81 ± 0,00 cA	1,31
Sexto	1,34 ± 0,00 aA	1,42	1,09 ± 0,00 bA	1,28	1,03 ± 0,00 cA	1,27
̄XRC	-	1,34 a	-	1,33 a	-	1,30 a
Peso da pupa	0,12 ± 0,00 a		0,12 ± 0,00 a		0,12 ± 0,00 a	
Razão sexual	0,48		0,49		0,49	

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). (-) Sem dados.

Tabela 4. Parâmetros reprodutivos (média $\pm$ erro padrão) de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentada com folhas de algodoeiro sem fertilização com Si (testemunha) e com aplicação de 150 mg kg⁻¹ (T2) e 300 mg kg⁻¹ de solo (T3) desse elemento à 25 $\pm$ 1° C, umidade relativa de 60 $\pm$ 10% e fotófase de 12 horas.

Parâmetro	Dose (mg kg ⁻¹)		
	0,00	150	300
No. de ovos por dia	126,21 $\pm$ 29,47 a	110,24 $\pm$ 14,42 a	147,20 $\pm$ 26,60 a
No. de massa de ovos por fêmea	19,70 $\pm$ 1,09 a	5,33 $\pm$ 1,02 b	2,32 $\pm$ 0,94 b
No. de massa de ovos por dia	2,84 $\pm$ 0,27 a	1,68 $\pm$ 0,15 b	2,32 $\pm$ 0,30 ab
No. de ovos por massa	48,14 $\pm$ 11,26 a	64,23 $\pm$ 7,14 a	73,83 $\pm$ 11,57 a

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

Tabela 5. Matriz de similaridade baseada na distância Euclidiana entre as doses de silício (0, 150 mg kg⁻¹ e 300 mg kg⁻¹ de solo) adotadas, dentro dos parâmetros reprodutivos de *Spodoptera frugiperda*.

	0 (G1)	150 (G2)	300 (G2)
0 (G1)	0,00	604,85	620,26
150 (G2)	604,85	0,00	19,90
300 (G2)	620,26	19,90	0,00

G= Grupos formados pela clusterização do algoritmo k means.

5. CONCLUSÕES GERAIS

O silício foi identificado naturalmente no solo, e sua absorção pelas plantas de algodão foi confirmada pela detecção de teores elevados desse elemento nas folhas após sua aplicação via solo. Observou-se, ainda, um incremento nos teores de silício tanto no solo quanto nos tecidos foliares, proporcional ao aumento das doses aplicadas.

A suplementação de silício em plantas de algodão demonstrou efeitos adversos sobre duas pragas-chave da cultura: *Alabama argillacea* (lagarta-do-algodoeiro) e *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho). A espécie *A. argillacea* foi a mais sensivelmente afetada, apresentando reduções significativas na taxa de sobrevivência e em parâmetros reprodutivos. Além disso, foram observadas alterações no desenvolvimento larval, como a redução na duração do período larval, diminuição do peso pupal e alteração na razão sexual.

Em *S. frugiperda*, embora os efeitos tenham sido menos pronunciados, também foram verificadas reduções na maioria dos parâmetros reprodutivos avaliados, indicando um impacto negativo sobre seu desempenho biológico e potencial reprodutivo, o que pode refletir na redução de suas populações ao longo do tempo.

Os resultados evidenciam que a aplicação de silício via solo pode constituir uma estratégia complementar viável e sustentável no manejo integrado de pragas (MIP) do algodoeiro, especialmente em contextos de falhas no controle proporcionado por cultivares Bt e em sistemas de produção orgânica ou agroecológica.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, A.; ULLAH, F.; HAFEEZ, M.; HAN, X.; DARA, M. Z. N.; GUL, H.; ZHAO, C. R. Biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2704, 2022.
- ACEVEDO, F. E.; PEIFFER, M.; RAY, S.; TAN, C. W.; FELTON, G. W. Silicon-mediated enhancement of herbivore resistance in agricultural crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 631824, 2021.
- AHMAD, M.; MUHAMMAD, W.; SAJJAD, A. Ecological management of cotton insect pests. In: *Cotton Production and Uses: Agronomy, Crop Protection, and Postharvest Technologies*. Singapore: **Springer Singapore**, p. 213-238, 2020
- AHMAD, W.; COFFMAN, L.; WEERASOORIYA, A. D.; CRAWFORD, K.; KHAN, A. The silicon regulates microbiome diversity and plant defenses during cold stress in *Glycine max* L. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1280251, 2024.
- AKHTAR, S.; FAROOQ, F.; IFTIKHAR, R.; DIN, N.; ASHRAF, M.; ZAHID, A. Population fluctuations of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and physiomorphic characterization of maize varieties cultivated under field conditions in Punjab-Pakistan. **Pakistan Journal of Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 356-364, 2023.
- ALHOUSARI, F.; GREGER, M. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 33, 2018.
- AMINE, H. M.; HAMED, S. A.; ANBAR, H. A.; SHALABY, G. A.; KHAZAL, N. M.; ABD EL-RAHMAN, H. A. Effect of different silica sources on cotton leafworm population in sugar beet plants, and their influence on sugar beet yield. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 10, n. 3, p. 55-60, 2022.
- BAIKAR, A. A.; NAIK, K. V. Biology of fruit borer, *Helicoverpa armigera* (Hubner) on chilli under laboratory conditions. **Plant Archives**, v. 16, n. 2, p. 761-769, 2016.
- BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21-34, 2018.
- BALA, K.; SOOD, A. K.; PATHANIA, V. S.; THAKUR, S. Effect of plant nutrition in insect pest management: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 4, p. 2737-2742, 2018.
- BATHOOVA, M.; SVUBOVA, R.; GIMES, L.; KOSTOLANI, D.; SLOVAKOVA, L.; MARTINKA, M. The potential of silicon in crop protection against phloem feeding and chewing insect pests – a review. **Journal of Experimental Botany**, eraf102, 2025.
- BENTIVENHA, J. P.; MONTEZANO, D. G.; HUNT, T. E.; BALDIN, E. L.; PETERSON, J. A.; VICTOR, V. S.; PANUTI, L. E. R.; VÉLEZ, A. M.; PAULA-MORAES, S. V. Intraguild interactions and behavior of *Spodoptera frugiperda* and *Helicoverpa* spp. on maize. **Pest Management Science**, v. 73, n. 11, p. 2244-2251, 2017.

BESTETE, L. R.; TORRES, J. B.; SILVA, R. B. B.; SILVA-TORRES, C. S. A.; BASTOS, C. S. Development of cotton pests exhibiting different feeding strategy on water-stressed and kaolin-treated cotton plants. **Journal of Pest Science**, v. 90, n. 1, p. 139-150, 2017.

BOREI, H. A.; EL-SAMAHY, M. F. M.; GALA, O. A. The efficiency of silica nanoparticles in control cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* Boisd. (Lepidoptera: Noctuidae) in soybean under laboratory conditions. **Global Journal of Agriculture and Food Safety Sciences**, v. 1, n. 2, p. 161-168, 2014.

BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S. Adubação do algodoeiro no ambiente de cerrado. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014.

BURTET, L. M.; BERNARDI, O.; MELO, A. A.; PES, M. P.; STRAHL, T. T.; GUEDES, J. V. Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in southern Brazil. **Pest Management Science**, v. 73, n. 12, p. 2569-2577, 2017.

CÁCERES, M.; VASSENA, C. V.; GARCERÁ, M. D.; SANTO-ORIHUELA, P. L. Silica nanoparticles for insect pest control. **Current Pharmaceutical Design**, v. 25, n. 37, p. 4030-4038, 2019.

CALVO, D.; MOLINA, J. M. Head capsule width and instar determination for larvae of *Streblote panda* (Lepidoptera: Lasiocampidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 101, n. 5, p. 881-886, 2008.

CHABOUSSOU, F. *Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose*. São Paulo: Expressão Popular, 2006. 320 p.

CHÁVEZ-DULANTO, P. N.; REY, B.; UBILLÚS, C.; RÁZURI, V.; BAZÁN, R.; SARMIENTO, J. Foliar application of macro- and micronutrients for pest-mites control in citrus crops. **Food and Energy Security**, v. 7, n. 2, p. e00132, 2018.

CHEN, Y. C.; CHEN, D. F.; YANG, M. F.; LIU, J. F. The effect of temperatures and hosts on the life cycle of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Insects**, v. 13, n. 2, p. 211, 2022.

CHI, Bao-jie; ZHANG, Dong-mei; DONG, He-zhong. Control of cotton pests and diseases by intercropping: a review. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 12, p. 3089-3100, 2021.

CONSTANT, J. Review of the effusus group of the lanternfly genus *Pyrops* Spinola, 1839, with one new species and notes on trophobiosis (Hemiptera: Fulgoromorpha: Fulgoridae). **European Journal of Taxonomy**, n. 128, 2015.

DYAR, H. G. The number of molts of lepidopterous larvae. *Psyche (Cambridge)*, v. 5, p. 420-422, 1980.

EL-SAYED, A. A.; ABOU SEEDA, M. A.; YASSEN, A. A.; ZAGHLOUL, S. M.; KHATE, A. Silicon in soils, plants and its important role in crop production: A review. **Middle East Journal of Agriculture Research**, v. 8, p. 983-1004, 2019.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, v. 91, p. 11-17, 1994.

ESPERK, T.; TAMMARU, T.; NYLIN, S. Intraspecific variability in number of larval instars in insects. **Journal of Economic Entomology**, v. 100, n. 3, p. 627-645, 2007.

FORCEA, E.; COUZIA, P.; DACHERA, M.; DEBERNARD, S. Diet impacts the reproductive system's maturation in the male moth *Agrotis ipsilon* (Noctuidae, Lepidoptera). **Journal of Insect Physiology**, v. 148, p. 104532, 2023.

FREIRE, E. C.; MORELLO, C. L.; FARIAS, F. J. C.; PEDROSA, M. B.; SILVA FILHO, J. L. Melhoramento do Algodoeiro: Cultivares Convencionais e Transgênicas para o Cerrado. In: FREIRE, E. C. (Ed.). *Algodão no cerrado do Brasil*. 3. ed. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão – ABRAPA, 2015. v. 1, cap. 6, p. 151-201.

FUNDERBURK, J. E.; RHOADS, F. M.; TEARE, I. D. Modifying soil nutrient level affects soybean insect predators. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 3, p. 581-585, 1994.

GHAJAR, M. A.; FENG, Q.; HAQ, I. U.; HYDER, M.; SUFAN, M.; ABBAS, D.; HAIDER, K.; KHALID, M. L.; AKHTAR, M. R.; WANG, L.; IQBAL, R.; ALKUBAISI, N.; ELSHIKH, M. S. Impact of silicon-based treatments on the demographic traits of *Spodoptera frugiperda* in maize. **Journal of Crop Health**, v. 77, p. 119, 2025.

GONÇALVES, S. G.; SILVA, C. A. D. D.; DUARTE, M. D. M. F.; VASCONCELOS, E. D. Oviposição do curuquerê e alimentação de suas lagartas neonatas em algodoeiros tratados com caulim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 526-533, 2015.

HAQ, I. U.; KHURSHID, A.; INAYAT, R.; ZHANG, K.; LIU, C.; ALI, S.; ZUAN, A. T. K.; AL-HASHIMI, A.; ABBASI, A. M. Silicon-based induced resistance in maize against fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)]. **PLoS One**, v. 16, n. 11, p. e0259749, 2021.

HAQ, I. U.; ZHANG, K.; ALI, S.; MAJID, M.; ASHRAF, H. J.; KHURSHID, A.; INAYAT, R.; LI, C.; GOU, Y.; AL-GHAMDI, A. A.; ELSHIKH, M. S.; KUBIK, S.; LIU, C. Effectiveness of silicon on immature stages of the fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)]. **Journal of King Saud University – Science**, v. 34, n. 6, p. 102152, 2022.

HAQ, I. U.; IDREES, A.; ABBASI, A.; ALI, S.; ASAD, M.; LI, C.; LIU, C.-Z.; ZHANG, K.-X.; YASIN, M.; ASGHAR, M. A.; IQBAL, J. Silicon accumulation in maize and its effects on demographical traits of fall armyworm, [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)]. **Silicon**, v. 15, n. 7, p. 3269-3281, 2023.

HALL, C. R.; DAGG, V.; WATERMAN, J. M.; JOHNSON, S. N. Silicon alters leaf surface morphology and suppresses insect herbivory in a model grass species. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 643, 2020.

HAN, Y.; LEI, W.; WEN, L.; HOU, M. Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **PloS One**, v. 10, n. 4, p. e0120557, 2015.

HAN, Yong-qiang; WEN, Ji-hui; PENG, Zhao-pu; ZHANG, De-yong; HOU, Mao-lin. Effects of silicon amendment on the occurrence of rice insect pests and diseases in a field test. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 10, p. 2172-2181, 2018.

HASSAN, K. M. et al. Silicon: a powerful aid for medicinal and aromatic plants against abiotic and biotic stresses for sustainable agriculture. **Horticulturae**, v. 10, n. 8, p. 806, 2024.

HATCHER, P. E.; PAUL, N. D.; AYRES, P. G.; WHITTAKER, J. B. Nitrogen fertilization affects interactions between the components of an insect–fungus–plant tripartite system. **Functional Ecology**, v. 11, p. 537-544, 1997.

HOCHULI, D. F. Insect herbivory and ontogeny: how do growth and development influence feeding behaviour, morphology and host use? **Austral Ecology**, v. 26, p. 563-570, 2001.

HOCKING, B.; DEPNER, K. R. Larval nutrition in *Agrotis orthogonia* (Lepidoptera: Phalaenidae): digestive enzymes. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 54, n. 1, p. 86-89, 1961.

HUA, K. H.; WANG, H. C.; CHUNG, R. S.; HSU, J. C. Calcium carbonate nanoparticles can enhance plant nutrition and insect pest tolerance. **Journal of Pesticide Science**, v. 40, n. 4, p. 208-213, 2015.

ISLAM, T.; MOORE, B. D.; JOHNSON, S. N. Silicon fertilization affects morphological and immune defences of an insect pest and enhances plant compensatory growth. **Journal of Pest Science**, v. 96, n. 1, p. 41-53, 2023.

ISLAM, T.; BROWN, M. S.; KOPPENHÖFER, A. M. Harnessing plant silicon defenses for biological control of herbivorous insects. **Trends in Plant Science**, 2025.

ISMAIL, Manal S. M.; ABDALLAH, Asmaa M.; ABOGHALIA, Ahmed H. Silicon as a plant defense inducer against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Trombidiformes: Tetranychidae) invasion on strawberry. **International Journal of Pest Management**, v. 70, n. 4, p. 1413-1422, 2024.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, M.; POWELL, G.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, p. 1071-1084, 2001.

KORNDÖRFER, A. P.; GRISOTO, E.; VENDRAMIM, J. D. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. **Neotropical Entomology**, v. 40, p. 387–392, 2011.

KLEIN, H.; VIDAL, F. The complex evolution of Brazilian cotton production. **América Latina en la Historia Económica**, v. 30, n. 2, p. 1-35, 2023.

KLIMES, P.; BOROVANSKA, M.; PLOWMAN, N. S.; LEPONCE, M. How common is trophobiosis with hopppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha) inside ant nests (Hymenoptera: Formicidae)? Novel interactions from New Guinea and a worldwide overview. **Myrmecological News**, v. 26, n. 1, p. 31-45, 2018.

KUMAR, S.; BHANDARI, D. Silicon: as a potential source to pests management. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 42, n. 5, p. 3221-3234, 2022.

- KUMAR, R. M.; GADRATAGI, B. G.; PARAMESH, V.; KUMAR, P.; MADIVALAR, Y.; NARAYANAPPA, N.; ULLAH, F. Sustainable management of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Agronomy**, v. 12, n. 9, p. 2150, 2022.
- LI, Y. P.; YAO, S. Y.; FENG, D.; HAACK, R. A.; YANG, Y.; HOU, J. L.; YE, H. Dispersal behavior characters of *Spodoptera frugiperda* larvae. **Insects**, v. 14, n. 6, p. 488, 2023.
- LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. Silicon and insect pest resistance. In: LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. (eds.). *Silicon in agriculture: from theory to practice*. Berlin: **Springer**, 2015. p. 197-207.
- LÜ, D.; DONG, Y.; YAN, Z.; LIU, X.; ZHANG, Y.; YANG, D.; HE, K.; WANG, Z.; WANG, P.; YUAN, X.; LI, Y. Dynamics of gut microflora across the life cycle of *Spodoptera frugiperda* and its effects on the feeding and growth of larvae. **Pest Management Science**, v. 79, n. 1, p. 173-182, 2023.
- MALAQUIAS, J. B.; GODOY, W. A. C.; CAPRIO, M. A.; PACHU, J. K. D. S.; DE SOUSA RAMALHO, F.; OMOTO, C.; FERREIRA, C. P. Evolutionary process modeling with Bayesian inference of *Spodoptera frugiperda* ballooning and walking dispersal in Bt and non-Bt cotton plant mixtures. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 169, n. 8, p. 721-731, 2021.
- MARTÍNEZ, L. C.; PANCHUK, J.; HAEDO, J. P.; POMPOZZI, G.; PÉREZ-MÉNDEZ, N.; FIORONI, F.; GARIBALDI, L. A.; MARRERO, H. J. Effects of soil nutrient enrichment on trophic interactions between herbivorous insects and foliage spiders in Patagonian forests. **Oecologia**, v. 207, n. 5, p. 1-12, 2025.
- MEBRAHTU, T.; KENWORTHY, W. J.; ELDEN, T. C. Inorganic nutrient analysis of leaf tissue from soybean lines screened for Mexican bean beetle resistance. **Journal of Entomological Science**, v. 23, p. 44-51, 1988.
- MEDEIROS, R. S.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, J. V.; BARROS, R. Estimativa do desenvolvimento de *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) por meio de modelos não lineares. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, p. 589-598, 2003.
- MONDEGO, J. M.; MACHADO, K. K. G.; OLIVEIRA, L. J. M. G.; LEMOS, R. N. S.; BASTISTA, J. L.; FERRAZ JUNIOR, A. S. L.; ARAUJO, A. M. S.; MELO, P. A. F. R.; MESQUITA, M. L. R. Effect of resistance elicitors on the biology and feeding preference of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in corn. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 11, p. 1774-1781, 2018.
- MODOLON, T. A.; ALVES, L. F.; PIETROWSKI, V.; GUIMARÃES, A. T. B. Diet and life cycle of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in maize treated with the homeopathic preparation *Silicea terra*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 12, n. 2, p. 106-116, 2017.
- MONTEZANO, D. G.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; SPECHT, A.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 286-300, 2018.

MOISE, E. R. D.; MCNEIL, J. N.; HARTLEY, S. E.; HENRY, H. A. L. Plant silicon effects on insect feeding dynamics are influenced by plant nitrogen availability. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 167, p. 91–97, 2019.

NABITY, P. D.; ORPET, R.; MIRESMAILLI, S.; BERENBAUM, M. R.; DELUCIA, E. H. Silica and nitrogen modulate physical defense against chewing insect herbivores in bioenergy crops *Miscanthus* × *giganteus* and *Panicum virgatum* (Poaceae). *Journal of Economic Entomology*, v. 105, p. 878–883, 2012.

NADEEM, F.; HANIF, M. A.; MAJEED, M. I.; MUSHTAQ, Z. Role of macronutrients and micronutrients in the growth and development of plants and prevention of deleterious plant diseases – a comprehensive review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, v. 13, p. 31-52, 2018.

NASCIMENTO, A. R. B.; RAMALHO, F. S.; AZEREDO, T. L.; FERNANDES, F. S.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. L.; SILVA, C. A. D.; MALAQUIAS, J. B. Feeding and life history of *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae) on cotton cultivars producing colored fibers. *Annals of the Entomological Society of America*, v. 104, n. 4, p. 613-619, 2011.

NASCIMENTO, A. M.; ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; SOUZA, B. H. S. Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Journal of Applied Entomology*, v. 142, p. 241-249, 2018.

NOVAIS, R. F. de; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. de. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. de; LOURENÇO, S. (Coords.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-253. (EMBRAPA-SEA. Documentos, 3).

O'REAGAIN, P. J.; MENTIS, M. T. Leaf silicification in grasses – a review. *Journal of the Grassland Society of Southern Africa*, v. 6, p. 37–43, 1989.

OROZCO, A. Z. Descripción de un periodo del ciclo de vida de *Alabama argillacea* (Erebidae: Lepidoptera). *Repertorio Científico*, v. 24, n. 2, p. 46-54, 2021.

PEREDES-SÁNCHEZ, F. A.; RIVERA, G.; BOCANEGRA-GARCÍA, V.; MARTÍNEZ-PADRÓN, H. Y.; BERRONES-MORALES, M.; NIÑO-GARCÍA, N.; HERRERA-MAYORGA, V. Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. *Molecules*, v. 26, n. 18, p. 5587, 2021.

PERDOMO, D. N.; RODRIGUES, A. A. R.; SAMPAIO, M. V.; CELOTO, F. J.; MENDES, S. M.; PEREIRA, H. S.; LIMA, D. T.; REZENDE, G. F. Increase in foliar silicon content reduces defoliation by *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. *Bragantia*, v. 81, e2522, 2022.

PEREIRA, P.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, B. H. S. de; PEÑAFLORES, M. F. G. V. Silicon supplementation of maize impacts fall armyworm colonization and increases predator attraction. *Neotropical Entomology*, v. 50, n. 4, p. 654–661, 2021.

PUTRA, Rocky; BÜNKER, Markus; MÜLLER, Caroline. Role of silicon in legume-insect interactions: Insights from a plant experiencing different levels of herbivory. *Functional Ecology*, v. 38, n. 12, p. 2693-2708, 2024.

QUEZADA-GARCÍA, R.; PURESWARAN, D.; BAUCE, E. Nutritional stress causes male-biased sex ratios in eastern spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae). **Canadian Entomologist**, v. 146, p. 219-223, 2014.

RAMOS, R. S.; SILVA, C. A. D.; LIMA, T. A.; ALBUQUERQUE JUNIOR, P. S.; CASTELLANI, M. A.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Development, survival and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed an artificial diet or on cotton, castor bean and corn leaves. **Insects**, v. 13, p. 428, 2022.

RAJENDRAN, T. P.; BIRAH, A.; BURANGE, P. S. Insect pests of cotton. In: Pests and their management. Singapore: **Springer Singapore**, 2018. p. 361-411.

RANJAN, A. et al. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 163, p. 15-25, 2021.

RAMALHO, F. S.; PACHU, J. K. S.; LIRA, A. C. S.; MALAQUIAS, J. B.; ZANUNCIO, J. C.; FERNANDES, F. S. Feeding and dispersal behavior of the cotton leafworm, *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on Bt and non-Bt cotton: implications for evolution and resistance management. **PLoS ONE**, v. 9, p. e111588, 2014.

RAMALHO, F. S.; PACHÚ, J. K. S.; LIRA, A. C. S.; MALAQUIAS, J. B.; BRITO, B. D. S.; ZANUNCIO, J. C.; FERNANDES, F. S. Effects of temperature on the feeding behavior of *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt and non-Bt cotton plants. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 9, n. 4, p. 2955-2969, 2017.

RASHID, M. M.; JAHAN, M.; ISLAM, K. S. Impact of nitrogen, phosphorus and potassium on brown planthopper and tolerance of its host rice plants. **Rice Science**, v. 23, n. 3, p. 119-131, 2016.

REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. 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.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1–15, 2020.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Impact of silicon nutrition on insect pest resistance and plant defense mechanisms: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 10, p. 1437–1455, 2021.

RIZWAN, M.; ATTA, B.; RIZWAN, M.; SABIR, A. M.; TAHIR, M.; SABAR, M.; ALI, M.; ALI, M. Y. Silicon plays an effective role in integrated pest management against rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **Pakistan Journal of Zoology**, v. 54, n. 2, p. 569-575, 2021.

RODRIGUES, T. R.; FERNANDES, M. G.; DEGRANDE, P. E.; MOTA, T. A. Spatial Distribution of Eggs of *Alabama argillacea* Hübner and *Heliothis virescens* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt and non-Bt Cotton. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 4, p. 2243-2253, 2015.

SAKR, N. The role of silicon (Si) in increasing plant resistance against insect pests – review article. **Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica**, v. 52, p. 185-204, 2017.

SALGADO, A. L.; SAASTAMOINEN, M. Developmental stage-dependent response and preference for host plant quality in an insect herbivore. **Animal Behaviour**, v. 150, p. 27-38, 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.

SANTOS, A. A.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; NAVARRO, D. M. A. F.; DUTRA, K. A.; CRUZ, G. S.; TEIXEIRA, A. A. C.; OLIVEIRA, J. V.; MILET-PINHEIRO, P. Oviposition behaviour and electrophysiological responses of *Alabama argillacea* (Hübner, 1823) (Lepidoptera: Erebidae) to essential oils and chemical compounds. **Austral Entomology**, v. 60, p. 390-399, 2021.

SANTOS-CIVIDANES, T. M.; CIVIDANES, F. J.; GARCIA, J. C.; VILELA, M.; MORAES, J. C.; BARBOSA, J. C. Silicon induces resistance to *Diatraea saccharalis* in sugarcane and it is compatible with the biological control agent *Cotesia flavipes*. **Journal of Pest Science**, v. 95, n. 2, p. 783-795, 2022.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 419, 2021.

SCHIRMER, F. G.; FAVETTI, B. M.; CLARK, T.; GALVAN, T.; CORDEIRO, E. M. G.; VIVAN, L.; TRAN, K.; BROMS, K.; MIRANDA, R. Supressão de acasalamentos e redução de danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) no algodoeiro. **Entomological Communications**, v. 5, p. ec05026, 2023.

SHARMA, S.; UPADHAYAYA, S.; TIWARI, S. Biology and integrated management of tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* Fab.: A systematic review. **Journal of Agriculture and Applied Biology**, v. 3, n. 1, p. 28-39, 2022.

SHI, Y.; LI, L. Y.; SHAHID, S.; SMAGGHE, G.; LIU, T. X. Effect of soil moisture on pupation behavior and inhabitation of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 56, n. 1, p. 69-74, 2021.

SHOREY, H. H.; HALE, R. L. Mass-rearing of the larvae of nine noctuid species on a simple artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 58, n. 3, p. 522–524, 1965.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, V. F.; MORAES, J. C.; MELO, B. A. Fontes de silício na indução de resistência a insetos-praga e no desenvolvimento de plantas de batata inglesa. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 149-156, 2010.

SILVA, A. A.; ALVARENGA, R.; MORAES, J. C.; ALCANTRA, E. Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em algodoeiro de fibra colorida tratado com silício. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 1, p. 65-68, 2014.

SILVA, D. M. D.; BUENO, A. D. F.; ANDRADE, K.; STECCA, C. D. S.; NEVES, P. M. O. J.; OLIVEIRA, M. C. N. D. Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 1, p. 18–31, 2017.

SILVA, D. B.; PAIXÃO-DARUICHI, A. P.; VIEIRA, N. C. S.; MARTINS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E. Gas exchange and leaf anatomy of cotton subjected to application of calcium silicate and mepiquat chloride under water stress. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 29, p. 221–226, 2023.

SORGATTO, R. J.; BERNARDI, O.; OMOTO, C. Survival and development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt cotton and implications for resistance management strategies in Brazil. **Environmental Entomology**, v. 44, n. 1, p. 186–192, 2015.

SOUSA, M. E. C.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; TEIXEIRA, A. A.; SIQUEIRA, H. Á. de; SANTOS, F. A.; ALVES, L. C. Ultrastructure of the *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) midgut. **Micron**, v. 40, n. 7, p. 743–749, 2009.

STILING, P.; CORNELISSEN, T. How does elevated carbon dioxide (CO₂) affect plant-herbivore interactions? A field experiment and meta-analysis of CO₂-mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. **Global Change Biology**, v. 13, p. 1823–1842, 2007.

STIPANOVIC, R. D.; LÓPEZ, J. D.; DOWD, M. K.; PUCKLABER, L. S.; DUKE, S. E. Effect of racemic, (+)- and (-)- gossypol on survival and development of *Heliothis virescens* larvae. *Environmental Entomology*, v. 37, p. 1081–1085, 2008.

SUJII, E. R.; BESERRA, V. A.; RIBEIRO, P. H.; SILVA-SANTOS, P. V.; PIRES, C. S. S.; SCHMIDT, F. G. V.; FONTES, E. M. G.; LAUMANN, R. A. Community of natural enemies and natural biological control of the aphid *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) and cotton leafworm *Alabama argillacea* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) in the cotton crop. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 74, p. 329–336, 2022.

THABET, A. F.; BORAEI, H. A.; GALAL, O. A.; EL-SAMAHY, M. F.; MOUSA, K. M.; ZHANG, Y. Z.; TUDA, M.; HELMY, E. A.; WEN, J.; NOZAKI, T. Silica nanoparticles as pesticide against insects of different feeding types and their non-target attraction of predators. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 14484, 2021.

TOMQUELSKI, G. V.; MARTINS, G. L. M. Eficiência de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho na região dos Chapadões. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 1, p. 26–39, 2007.

TOUBER, F.; TURNER, B. L.; LALIBERTÉ, E.; LAMBERS, H.; MAHY, G.; FAUCON, M.-P.; ZEMUNIK, G.; CORNELIS, J.-T. Plants sustain the terrestrial silicon cycle during ecosystem retrogression. **Science**, v. 369, n. 6508, p. 1245–1248, 2020.

VERMA, S.; SHARMA, A.; KUMAR, R.; KAUR, C.; ARORA, A.; SHAH, R.; NAIN, L. Improvement of antioxidant and defense properties of tomato (var. Pusa Rohini) by application of bioaugmented compost. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 3, p. 256–264, 2015.

WELTER, S. C. Arthropod impact on plant gas exchange. In: **Insect-plant interactions**. Boca Raton: CRC Press, 2019. p. 135-164.

WILSON, Lewis J.; WHITEHOUSE, Mary E. A.; HERRON, Grant A. The management of insect pests in Australian cotton: an evolving story. **Annual Review of Entomology**, v. 63, n. 1, p. 215-237, 2018.

ZALUCKI, M. P.; CLARKE, A. R.; MALCOLM, S. B. Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. **Annual Review of Entomology**, v. 47, p. 361-393, 2002.

ZHANG, Y.; MA, B.; HU, Y.; LI, C.; LI, Y. Accurate cotton diseases and pests detection in complex background based on an improved YOLOX model. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 203, p. 107484, 2022.

ZIMBA, K. J. et al. Potential of silicon to improve biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* on maize. **Agriculture**, v. 12, n. 9, p. 1432, 2022.