



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

GILVANA DA SILVA RIBEIRO

EFEITO DO SILÍCIO NOS MECANISMOS DE ANTIBIOSE E ANTIXENOSE EM
***Vigna unguiculata* SOB ATAQUE DE *Bemisia tabaci* MEAM1**

Bom Jesus – PI

2025

GILVANA DA SILVA RIBEIRO

**EFEITO DO SILÍCIO NOS MECANISMOS DE ANTIBIOSE E ANTIXENOSE EM
Vigna unguiculata SOB ATAQUE DE *Bemisia tabaci* MEAM1**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - PPGCA, Campus Professora Cinobelina Elvas - CPCE, da Universidade Federal do Piauí - UFPI, na área de concentração Produção Vegetal, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Barboza Silva

Bom Jesus – PI

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Campus Professora Cinobelina Elvas
Serviço de Processos Técnicos

R484e Ribeiro, Gilvana da Silva.
 Efeito do silício nos mecanismos de antibiose e antixenose
 em *Vigna unguiculata* sob ataque de *Bemisia tabaci* MEAM1 /
 Gilvana da Silva Ribeiro. – 2025.
 57 f. : il.

 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
 Campus Professora Cinobelina Elvas - CPCE, Programa de Pós-
 Graduação em Ciências Agrárias - PPGCA, Bom Jesus, 2025.
 “Orientadora: Profa. Dra. Luciana Barboza Silva.”

 1. Resistência de plantas. 2. Feijão-caupi. 3. Interação-
 inseto-planta. 4. Mosca-branca. I. Silva, Luciana Barboza.
 II. Título.

CDD 635.651

Bibliotecário: Gésio dos Santos Barros - CRB3/1469

GILVANA DA SILVA RIBEIRO

**EFEITO DO SILÍCIO NOS MECANISMOS DE ANTIBIOSE E ANTIXENOSE EM
Vigna unguiculata SOB ATAQUE DE *Bemisia tabaci* MEAM1**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - PPGCA, do Campus Professora Cinobelina Elvas - CPCE, da Universidade Federal do Piauí - UFPI, como requisito à obtenção do título de Mestrado em Ciências Agrárias.

Área de concentração: Produção Vegetal.

Linha de Pesquisa: Proteção de Plantas.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Barboza Silva.

Aprovada em: 28 de janeiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Luciana Barboza Silva (CPCE-UFPI)
(Orientadora)

Prof. Dra. Lucia da Silva Fontes (UFPI)
Examinador Externo ao Programa

Prof. Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa (IFMA)
Examinador Externo ao Programa

Prof. Dr. Jenilton Gomes da Cunha (CCA-UNIVASF)
Examinador Externo ao Programa

A Deus minha força maior, minha família
que sempre estiveram comigo e amigos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre ter sido minha força maior, nos momentos mais difíceis pude perceber seu cuidado e amor por mim, mantendo-me firme nessa trajetória.

A Virgem Maria, Santa Rita de Cássia, Santa Luzia, São Pedro que intercederem por mim levando minhas orações a Deus.

A minha família, minha mãe Darlene e meu irmão Silvestre que sempre me incentivaram a estudar mesmo nas dificuldades, e acreditaram sempre em mim. Amo vocês, eternamente!

A meu namorado Djinansley, sempre esteve disposto a ajudar no que eu precisasse, até mesmo a carregar os vasos (risos).

Aos meus professores, Mirya Portela e Sandro Araújo, fontes de inspirações profissionais que tive a oportunidade de ser aluna durante minha jornada acadêmica no IFPI. Nunca esquecerei ao que me disseram: O mestrado será o divisor de águas em sua vida, Gilvana (Mirya); O que é do homem, o bicho não come (Sandro).

Aos meus poucos amigos verdadeiros que tive em Bom Jesus, dedico: Claudiana, Eduardo, Vânia, Yanka, Ramon.

Aos colegas colaboradores na pesquisa que ajudaram de forma direta e indiretamente em cada parte, em especial: Dúvidas científicas: Jenilton, Impressões de materiais: Antonio, Análises em laboratório: Estefenson e Alisson.

Aos meus queridos (as) amigos que chegaram em um momento de profunda necessidade, tornando meus últimos meses em Bom Jesus mais leves diante da ansiedade que sentia, e que foram essenciais na execução dos experimentos, dedico: Ana Clara, Maria Júlia, Nathyelle, Ronald, Vinicius, Mateus.

Ao Grupo de Pesquisa: Experimentação e Pesquisa em Manejo Integrado de Pragas (EPMIP) pela estrutura do laboratório e suporte na execução do meu trabalho.

A minha orientadora, Luciana Barboza, pela orientação. Atenciosa, cuidadora, inteligente são qualidades que a descrevem e lhe torna uma profissional admirada.

A Universidade Federal do Piauí (UFPI) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pela oportunidade de cursar o Mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas durante os dois anos de Mestrado.

RESUMO

Bemisia tabaci (Gennadius, 1889) biótipo MEAM1 é uma das principais pragas agrícolas, geralmente controlada por meio de inseticidas químicos. Entretanto, estratégias alternativas mais sustentáveis e menos prejudiciais ao ambiente, como o uso de variedades resistentes e suplementação com silício (Si), têm ganhado destaque. Embora não essencial às plantas, diversos estudos comprovam que o silício fortalece mecanismos de defesa física, química e morfológica contra estresses bióticos e abióticos. Assim, este estudo objetivou avaliar o efeito do silício sobre a resistência de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ao biótipo MEAM1 de *B. tabaci* por meio de testes de antixenose (com e sem chance de escolha), avaliando-se a preferência alimentar do inseto, e testes de antibiose, analisando-se o desenvolvimento biológico da praga. Além disso, foram quantificados o acúmulo foliar de silício e os componentes produtivos do feijão-caupi submetido à infestação pela mosca-branca. O experimento compreendeu três tratamentos: suplementação com biochar, óxido de silício e um controle sem suplementação. Os resultados demonstraram que plantas tratadas com biochar reduziram significativamente a oviposição de *B. tabaci* MEAM1, evidenciando um efeito antixenótico. Plantas suplementadas com óxido de silício apresentaram efeito antibiótico, interferindo no desenvolvimento biológico da praga ao prolongar seu ciclo e reduzir o número de ninfas e adultos. Os índices de pigmentos fotossintéticos (Clf a) foram superiores nas plantas tratadas com biochar, enquanto as tratadas com óxido de silício apresentaram valores mais baixos. Em relação à produtividade, plantas não infestadas, independentemente da fonte de silício, acumularam maiores teores de Si nas folhas, favorecendo o aumento na produção de vagens. De modo geral, os resultados indicam que a suplementação com silício confere proteção efetiva contra *B. tabaci* MEAM1, melhora a produtividade do feijão-caupi e reforça o potencial do biochar como uma fonte prática e sustentável de silício no manejo integrado de pragas.

Palavras-chave: Mosca-branca, Feijão-caupi, Resistência de plantas, Interação-inseto-planta.

ABSTRACT

Bemisia tabaci (Gennadius, 1889) biotype MEAM1 is one of the main agricultural pests, typically controlled by chemical insecticides. However, alternative strategies that are more sustainable and environmentally friendly, such as using resistant plant varieties and silicon (Si) supplementation, have been gaining attention. Although not essential for plants, numerous studies have demonstrated that silicon strengthens physical, chemical, and morphological defense mechanisms against biotic and abiotic stresses. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of silicon on the resistance of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. to *B. tabaci* MEAM1 through antixenosis tests (with and without choice), assessing the insect's feeding preference, and antibiosis tests, analyzing the pest's biological development. Additionally, silicon accumulation in leaves and the productive components of cowpea subjected to whitefly infestation were quantified. The experiment consisted of three treatments: supplementation with biochar, silicon oxide, and an unsupplemented control. Results indicated that biochar-treated plants significantly reduced the oviposition of *B. tabaci* MEAM1, demonstrating an antixenotic effect. Plants supplemented with silicon oxide exhibited an antibiotic effect, interfering with the pest's biological development by extending its life cycle and reducing the number of nymphs and adults. Photosynthetic pigment indices (Clf a) were higher in biochar-treated plants, while plants treated with silicon oxide showed lower values. Regarding productivity, non-infested plants accumulated higher leaf silicon content regardless of the silicon source, contributing to increased pod production. Overall, results indicate that silicon supplementation effectively protects against *B. tabaci* MEAM1, enhances cowpea productivity, and reinforces biochar's potential as a practical and sustainable silicon source in integrated pest management.

Keywords: Cowpea, Insect-plant interaction, Plant resistance, Whitefly.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Média de número de ovos e ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1 em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos com biochar, óxido de silício e controle.....	33
Figura 2 - Número médio de adultos de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1 em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos com biochar, óxido de silício e controle, ao longo das avaliações.....	34
Figura 3 - Número total de ovos de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1 em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos com biochar, óxido de silício e controle.....	35
Figura 4 - Número total de ovos, ninfas e adultos, média de dias de ovo a adulto de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1 em plantas de feijão-caupi submetidas aos diferentes tratamentos.....	36
Figura 5 - Teores de clorofila <i>a</i> e clorofila <i>b</i> em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos com biochar, óxido de silício e controle.....	38
Figura 6 - Teores de silício em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos com biochar, óxido de silício e controle, na presença e ausência de infestação com <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	39
Figura 7 - Número de vagens secas por planta de feijão-caupi sob diferentes tratamentos com biochar, óxido de silício e controle, na presença e ausência de infestação com <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	40
Figura 8 - Componentes de produção (comprimento de vagens secas, peso de vagens secas, número de grãos secos por vagem, e peso de grãos secos por vagem) de plantas de feijão-caupi expostas aos diferentes tratamentos durante o teste de antibiose.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeito do silício em diferentes culturas ao ataque de diversos insetos-praga.....	23
Tabela 2 - Determinação de silício e demais nutrientes presentes no biochar.....	27
Tabela 3 - Análise de variância dos componentes de produção em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos (Biochar, óxido de silício e controle) sob condições infestadas e não infestadas por <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS

CPCE	Campus Professora Cinobelina Elvas
DAI	Dias após a infestação
PPGCA	Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias
UFPI	Universidade Federal do Piauí
Si	Silício
CA	Casca de arroz
CN	Controle
MED	Mediterrâneo
MEAM1	Middle East-Asia Minor 1
HIPVs	Compostos Orgânicos Voláteis Induzidos por Herbívoros
NVSP	Número de vagens secas por planta
CVS	Comprimento de vagens secas
PVSSG	Peso de vages secas sem grãos
NGPV	Número de grãos secos por vagens
PGSV	Peso de grãos secos por vagens
SAS	Statistical Analysis System
ANOVA	Análise de variância

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
g	Grama
kg	Quilograma
mL	Mililitro
L	Litro
°C	Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	Danos causados por <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1 e ciclo biológico.....	17
2.2	Resistência de plantas.....	19
2.3	Estratégias alimentares e mecanismos de adaptação de insetos herbívoros às plantas hospedeiras.....	20
2.4	Efeito do silício em plantas.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1	Local de desenvolvimento dos experimentos.....	26
3.2	Carbonização da casca de arroz para determinação de silício (biochar).....	26
3.3	Criação e manutenção da população de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	27
3.4	Bioensaio I – antixenose.....	27
3.4.1	Preferência de oviposição: teste com chance de escolha.....	27
3.4.2	Preferência de oviposição: teste sem chance de escolha.....	29
3.5	Bioensaio II – antibiose.....	29
3.6	Análise do índice de clorofila de <i>Vigna unguiculata</i> sob herbivoria de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	30
3.7	Análise dos componentes de produção do feijão-caupi em condições de casa de vegetação sob herbivoria de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	31
3.8	Análise dos teores foliares de silício nas plantas de feijão-caupi sob herbivoria de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	31
3.9	Análise estatística.....	32
4	RESULTADOS.....	33
4.1	Bioensaio I - antixenose com chance escolha.....	33
4.2	Bioensaio II - antixenose sem chance escolha.....	35
4.3	Bioensaio III - antibiose.....	35
4.3.1	Desenvolvimento biológico de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	35
4.3.2	Índice de clorofila de <i>Vigna unguiculata</i> sob herbivoria por <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	37

4.3.3	Teores de silício.....	38
4.3.4	Componentes de produção do feijão-caupi em condições de casa de vegetação sob herbivoria de <i>Bemisia tabaci</i> MEAM1.....	39
5	DISCUSSÃO.....	43
6	CONCLUSÃO.....	46
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O silício (Si) tem sido amplamente reconhecido como um elemento funcional importante para muitas plantas, particularmente na mitigação de estresses bióticos e abióticos (Guntzer; Keller; Meunier, 2012; Cooke; Leishman, 2016; Debona; Rodrigues; Datnoff, 2017; Coskun *et al.*, 2019). As plantas absorvem Si do solo na forma de ácido monossilícico, que é transportado via xilema e depositado em diversos tecidos vegetais, especialmente nas folhas (Raven, 1983; Ma; Yamaji, 2015). Esse acúmulo de Si é frequentemente associado à redução de estresses ambientais, variando desde a toxicidade por metais até a herbivoria, embora os mecanismos subjacentes ainda não estejam completamente esclarecidos (Frew *et al.*, 2018).

No contexto de estresses bióticos, como ataques de patógenos e insetos herbívoros, o Si é amplamente relatado como um indutor de resistência, promovendo defesas físicas, químicas e morfológicas nas plantas (Reynolds; Keeping; Meyer, 2009; Debona; Rodrigues; Datnoff, 2017). Além disso, evidências indicam que o Si atua como uma defesa induzível, com aumento na absorção e deposição após o ataque de herbívoros (Massey; Ennos; Hartley, 2007).

A resistência de plantas a insetos-praga é definida como a capacidade de uma planta em suportar ou evitar danos causados por herbivoria, podendo ser classificada em três tipos principais: antibiose, antixenose e tolerância (Painter, 1951; Smith, 2005). A antixenose refere-se à não preferência do inseto pela planta hospedeira devido a características morfológicas ou químicas que afetam o comportamento do inseto, como oviposição e alimentação (Panda; Khush, 1995; Smith, 2005). Já a antibiose está associada a fatores intrínsecos da planta que interferem negativamente no desenvolvimento, sobrevivência ou reprodução do inseto, reduzindo sua capacidade de explorar a planta como hospedeira (Painter, 1951; Panda; Khush, 1995).

Em termos de resistência a herbívoros, o Si proporciona barreiras físicas diretas, tornando os tecidos vegetais mais resistentes à penetração e ao esmagamento (Clissold, 2008; Hunt *et al.*, 2008). Depósitos de Si, como fitólitos e outras estruturas físicas, podem ser formados na superfície das folhas, reduzindo a herbivoria (Hartley *et al.*, 2015). Essas estruturas abrasivas desgastam as peças

buciais dos herbívoros (Massey; Hartley, 2009), prejudicam sua nutrição ao dificultar a digestão e podem facilitar a transmissão de doenças (Lev-Yadun; Halpern, 2019).

Além das barreiras físicas, o Si tem sido associado ao aumento do acúmulo nas folhas, promovendo maior resistência estrutural, além de modular defesas químicas e fitohormonais, como as relacionadas ao ácido jasmônico e ao ácido salicílico, que desempenham papéis fundamentais na sinalização de estresse biótico (Reynolds; Keeping; Meyer, 2009; Hall *et al.*, 2019). A incorporação de Si às paredes celulares é metabolicamente mais eficiente que a produção de compostos como lignina, permitindo que as plantas direcionem mais recursos para defesas bioquímicas (Raven, 1983).

Outras pesquisas com a utilização do Si na forma de silicato de cálcio e ácido silícico, demonstraram um aumento na taxa de mortalidade de insetos-praga, como ninfas de mosca-branca, ninfas e adultos de pulgão-verde, reduzindo os danos causados por herbívoros em culturas de trigo, cana-de-açúcar e pepino (Correa *et al.*, 2005; Costa; Moraes; Antunes, 2007; Moraes; Ferreira; Costa, 2009).

Bemisia tabaci Gennadius, 1889, (Hemiptera: Aleyrodidae) é um inseto polífago que afeta diversas culturas de alto valor econômico, incluindo o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) (Abubakar *et al.*, 2022). O feijão-caupi por sua vez, é uma das culturas mais consumidas e produzidas no Brasil, com características de resistência à seca e tolerância a solos de baixa fertilidade. No entanto, seu cultivo sofre problemas com a infestação de insetos-pragas, principalmente a mosca-branca, responsável por transmitir doenças que prejudicam o desenvolvimento do feijão-caupi. O mosaico-dourado-do-caupi e o vírus *Cowpea mild mottle virus* (CpMMV) são exemplos de doenças virais transmitidas por *B. tabaci* às plantas de feijão-caupi (Silva *et al.*, 2004; Marubayashi; Yuki; Wutke, 2010).

Apesar do controle químico ser amplamente utilizado para conter populações de *B. tabaci*, o curto ciclo biológico desse inseto favorece o desenvolvimento de resistência a inseticidas. Nesse cenário, o silício tem sido amplamente investigado como uma ferramenta sustentável para fortalecer as defesas das plantas contra a herbivoria.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do silício na interação inseto-planta entre *V. unguiculata* e *B. tabaci*, caracterizando o comportamento de preferência alimentar e o desenvolvimento biológico do inseto por meio de testes de

antixenose e antibiose. Além disso, foram avaliados o teor de silício nas folhas e os componentes de produção do feijão-caupi submetido à herbivoria de *B. tabaci*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Danos causados por *Bemisia tabaci* MEAM1 e ciclo biológico

Bemisia tabaci Gennadius, 1889 (Hemiptera: Aleyrodidae) é amplamente reconhecida como uma das pragas agrícolas mais destrutivas no mundo. Seu hábito alimentar polífago permite explorar diversas plantas de alto valor econômico, com destaque para as famílias Cucurbitaceae, Solanaceae, Malvaceae e Fabaceae, entre outras (Sacilotto *et al.*, 2023; Mbata *et al.*, 2024; Alvarez *et al.*, 2024a). A incidência elevada de populações de mosca-branca pode causar severos impactos econômicos, reduzindo a produtividade das culturas agrícolas.

Os danos causados por *B. tabaci* são classificados como diretos e indiretos. Os danos diretos resultam da sucção de seiva por ninfas e adultos, que excretam uma substância açucarada conhecida como "honeydew". Essa substância promove o desenvolvimento de fumagina sobre as folhas, o que dificulta a fotossíntese e favorece a infestação por fungos prejudiciais ao crescimento das plantas (Cameron *et al.*, 2013). Já os danos indiretos estão associados à capacidade de *B. tabaci* de transmitir diversos fitovírus, como begomovírus, carlavírus, crinivírus, ipomovírus e torradovírus, que comprometem severamente a saúde das plantas e o rendimento das culturas (Njoroge *et al.*, 2017; Wei *et al.*, 2019; Moodley; Gubba; Mafongoya, 2020; Nurrohman; Zubaidah; Kuswanto, 2022; Jayanthi; Geetanjali, 2024).

Avanços recentes na taxonomia de *B. tabaci* identificaram 43 complexos de espécies distribuídas globalmente, com variações genéticas significativas (Moraes *et al.*, 2018; Marchi *et al.*, 2018; El Hamss *et al.*, 2022; Xue *et al.*, 2024). Dentre esses complexos, os biótipos B (Oriente Médio-Ásia Menor 1, MEAM1) e Q (Mediterrâneo, MED) destacam-se por sua alta capacidade invasiva e destrutiva, sendo responsáveis por ataques severos em culturas de grande valor econômico. Esses biótipos apresentam diferenças quanto à preferência por plantas hospedeiras, tolerância a temperaturas, eficiência na transmissão de vírus e resistência a inseticidas (Barro *et al.*, 2011; Watanabe *et al.*, 2019; Khalid *et al.*, 2021; Sporleder *et al.*, 2023; Wu *et al.*, 2023; Alvarez *et al.*, 2024b).

O ciclo de vida de *B. tabaci* compreende quatro estágios: ovo, ninfa, pupa e adulto. Fatores como temperatura, umidade relativa e disponibilidade de plantas hospedeiras influenciam diretamente o tempo de desenvolvimento do inseto, independentemente do complexo ou biótipo (Moscardi *et al.*, 2012).

Os ovos, de formato piriforme e com aproximadamente 0,2 mm de comprimento, são depositados principalmente na face abaxial das folhas. O período de desenvolvimento embrionário varia entre 5 e 7 dias, dependendo das condições ambientais, e é marcado por mudanças de coloração, de branco inicial ao escurecimento final, antes da eclosão (Moscardi *et al.*, 2012). Após a eclosão, o estágio de ninfa atravessa quatro ínstar. No primeiro instar (estágio I), a ninfa é móvel e se desloca para se fixar no tecido vegetal. Nos estágios subsequentes (II e III), torna-se fixa, alimentando-se de seiva. No quarto instar (estágio IV), ocorre a transição para a fase de pupa, com desenvolvimento das estruturas adultas e menor atividade alimentar (Haji; Ferreira; Moreira, 2004; Kedar; Saini; Kumaranag, 2014).

Os adultos emergem da pupa por uma fenda em formato de “T” invertido, deixando a exúvia sobre a folha. Medem entre 1 e 2 mm de comprimento, sendo as fêmeas maiores que os machos, e apresentam alta capacidade reprodutiva, com cada fêmea podendo ovipositar cerca de 300 ovos ao longo de sua vida (Kedar; Saini; Kumaranag, 2014; Solanki; Jha, 2018; Perring *et al.*, 2018). O ciclo de vida completo varia entre 15 e 30 dias, dependendo das condições ambientais e da espécie (Haji; Ferreira; Moreira, 2004).

Estudos recentes destacam que a duração do ciclo de *B. tabaci* é influenciada por características das plantas hospedeiras. Baldin *et al.*, (2021), ao avaliar 32 genótipos de couve, observaram que o período de ovo a ninfa variou entre 6,08 e 7,03 dias. Já em pepino, Novaes *et al.*, (2020) identificaram variações de 26,6 a 31,7 dias para o ciclo de vida completo, com altos níveis de antibiose em alguns genótipos, refletindo menor emergência de adultos.

A resistência de plantas é uma estratégia sustentável e eficaz para o manejo de pragas agrícolas. Ela reduz a dependência de inseticidas químicos, que, além de impactarem negativamente o ambiente, podem acelerar a evolução da resistência em insetos. Nesse sentido, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) favorece a utilização de resistência natural das plantas, proporcionando uma abordagem ecologicamente viável para o controle de *B. tabaci*.

2.2 Resistência de plantas

As plantas apresentam três mecanismos principais de resistência a insetos-pragas: antibiose, antixenose e tolerância. A antibiose está relacionada à resposta do inseto à planta, ou seja, quando a planta interfere no ciclo de vida do inseto, afetando negativamente sua biologia, como sobrevivência, desenvolvimento e fecundidade, podendo retardar seu ciclo biológico. Já a antixenose refere-se à não preferência do inseto pela planta, influenciada por fatores morfológicos e químicos que afetam o comportamento do inseto, incluindo alimentação e oviposição. Esse mecanismo pode levar a atrasos na aceitação alimentar do herbívoro ou, em casos extremos, à rejeição total da planta como hospedeira. Por sua vez, a tolerância é definida como o conjunto de características genéticas da planta que permitem resistir ao ataque de pragas sem que haja comprometimento significativo no crescimento ou desenvolvimento vegetal (Smith; Clement, 2012).

Ao longo do tempo, as plantas desenvolveram diversas estratégias de defesa contra estresses bióticos e abióticos. Entre os mecanismos mais importantes para o equilíbrio do metabolismo vegetal está a produção de metabólitos primários e secundários. Os metabólitos primários atuam diretamente no crescimento e desenvolvimento da planta, enquanto os metabólitos secundários desempenham um papel essencial na defesa contra estressores bióticos, como herbívoros e patógenos (Ahmed; Jamil; Siddiqui, 2024).

As defesas constitutivas das plantas, aquelas que estão sempre presentes, incluem características morfológicas, físicas e bioquímicas. As defesas morfológicas e físicas, como tricomas, cutículas cerosas, pelos glandulares e a presença de silício nas paredes celulares, representam a primeira linha de defesa contra insetos. Essas estruturas dificultam o acesso do herbívoro ao tecido vegetal, reduzindo a alimentação e a oviposição (Tayal *et al.*, 2020; Wahyuni *et al.*, 2021). Já as defesas bioquímicas compreendem a produção de metabólitos sinalizadores de estresse biótico, que também contribuem para a proteção da planta.

Além das defesas constitutivas, as plantas podem ativar defesas induzidas em resposta ao ataque de herbívoros. Essas defesas envolvem a liberação de compostos orgânicos voláteis induzidos por herbívoros (HIPVs), que desempenham papéis diretos e indiretos. As defesas induzidas diretas causam repelência,

dificultando a alimentação e oviposição do inseto-praga, enquanto as indiretas atuam como mensageiros, atraindo inimigos naturais, como predadores e parasitóides, para combater os herbívoros (Li *et al.*, 2014).

A emissão de HIPVs também age como sinalizadores de estresse, induzindo vias de defesa específicas, como a mediada por ácido jasmônico. Estudos relatam que essa via de defesa não é ativada na ausência de herbivoria, mas é induzida no momento em que os herbívoros iniciam o ataque, destacando a importância desse mecanismo na resposta defensiva da planta (Zhang *et al.*, 2020).

Compreender os sistemas de defesa das plantas contra a herbivoria é essencial para elucidar as estratégias defensivas combinadas, que incluem tanto defesas constitutivas quanto induzíveis. Esses estudos contribuem para o desenvolvimento de métodos sustentáveis de manejo de insetos-pragas, minimizando os impactos da herbivoria e promovendo o equilíbrio dos ecossistemas agrícolas (Johnson *et al.*, 2021; Ryalls *et al.*, 2023; Chakraborty; Gershenzon; Schuster, 2023).

2.3 Estratégias alimentares e mecanismos de adaptação de insetos herbívoros às plantas hospedeiras

A coevolução entre insetos e plantas permitiu o desenvolvimento de diversas estratégias defensivas pelos insetos herbívoros para contornar os efeitos prejudiciais de compostos tóxicos emitidos pelas plantas hospedeiras. Esses mecanismos de adaptação incluem especialização alimentar, que possibilita aos insetos explorar plantas com menor impacto negativo sobre seu metabolismo e ciclo de vida. Nesse contexto, os insetos herbívoros, considerados um dos maiores grupos de insetos-praga, podem ser classificados em generalistas e especialistas, de acordo com a especificidade de sua dieta em relação às espécies de plantas (Kundu *et al.*, 2023).

Herbívoros generalistas são caracterizados por seu hábito alimentar polífago, consumindo uma ampla variedade de plantas hospedeiras. Exemplos bem conhecidos incluem *Bemisia tabaci* (mosca-branca) e *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho), pragas comuns em sistemas agrícolas. Em contrapartida, herbívoros especialistas se alimentam de um número limitado de espécies vegetais, ou até mesmo de uma única espécie, como é o caso da borboleta-da-couve (*Pieris*

brassicae) e da traça-das-crucíferas (*Plutella xylostella*) (Kundu *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024; Peters; Greenberg; Fatouros, 2024).

Entre os mecanismos coevolutivos que permitem a adaptação dos herbívoros às plantas, destacam-se a desintoxicação de compostos secundários, a seleção de plantas hospedeiras e a excreção de substâncias tóxicas. Além disso, as guildas alimentares constituem outra importante estratégia adaptativa, permitindo que os insetos se especializem na ingestão de determinadas partes das plantas. Exemplos incluem insetos sugadores de floema, como a mosca-branca (*B. tabaci*), insetos mastigadores de folhas, como a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), e alimentadores de raízes, como as larvas do gorgulho-da-água-do-arroz (*Lissorhoptrus oryzophilus*) (Schnurrer; Paetz, 2023).

Os insetos sugadores de floema, como moscas-brancas e pulgões, inserem uma estrutura denominada estilete nos tecidos vegetais, permitindo-lhes acessar os nutrientes da seiva. Por outro lado, insetos mastigadores, como lagartas, causam danos mecânicos mais extensos às plantas devido ao consumo direto de tecido foliar. Esses ataques, contínuos ou intermitentes, desencadeiam respostas defensivas nas plantas, frequentemente associadas à emissão de compostos voláteis e à ativação de vias de sinalização mediadas por fitohormônios, como o ácido jasmônico e o ácido salicílico. Estudos recentes demonstraram que essas respostas hormonais desempenham papel central na defesa contra tanto insetos sugadores de floema quanto mastigadores de folhas, promovendo a resistência das plantas aos danos causados (Liu *et al.*, 2024).

2.4 Efeito do silício em plantas

Apesar de o silício (Si) ser o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, ele não é considerado um elemento essencial para as plantas, de acordo com os critérios de essencialidade definidos por Arnon e Stout (1939), embora essa questão ainda seja objeto de debate. No entanto, os inúmeros benefícios que o Si confere às plantas em situações de estresses bióticos e abióticos demonstram sua participação ativa no desenvolvimento vegetal.

Diversos estudos têm revelado o papel fundamental do Si na mitigação de estresses causados por insetos-pragas, contribuindo para a resistência das plantas através da emissão de compostos voláteis e da produção de metabólitos secundários (Nagaratna *et al.*, 2021). Além disso, o Si promove a tolerância a condições adversas, como estresses hídricos e salinos (Bybordi, 2012; Teixeira *et al.*, 2019;), ao melhorar parâmetros fisiológicos e aumentar a atividade de enzimas antioxidantes. Os efeitos do Si em diferentes espécies de plantas sob ataque de insetos-pragas podem ser observados na Tabela 1.

A deposição de sílica nas células epidérmicas das plantas cria barreiras físicas que dificultam a penetração do aparelho bucal de insetos-pragas nos tecidos vegetais, interferindo na alimentação e no comportamento desses herbívoros. Esses efeitos são observados tanto em monocotiledôneas quanto em dicotiledôneas (Kumar; Bhandari, 2022).

As plantas apresentam diferentes capacidades de acumulação de Si, o que levou à proposta de classificações baseadas no teor de silício presente nos tecidos vegetais. A primeira classificação, sugerida por Handreck e Jones (1967), categorizava as plantas em acumuladoras baixas, intermediárias e altas. Posteriormente, Takahashi *et al.* (1990) refinaram essa classificação ao considerar os mecanismos de absorção de Si, dividindo as plantas em acumuladoras ativas, passivas e rejeitativas.

Plantas acumuladoras ativas, geralmente monocotiledôneas, possuem teores de Si na parte aérea entre 1,5% e 10% e apresentam transporte eficiente de Si. Já as acumuladoras passivas, como gramíneas, possuem teores intermediários de 0,5% a 1,5%. Por outro lado, plantas rejeitativas, geralmente dicotiledôneas, acumulam menos de 0,2% de Si na parte aérea. Essas diferenças refletem variações nos mecanismos de transporte de Si e na eficiência de sua absorção pelas raízes (Handreck; Jones, 1967; Takahashi *et al.*, 1990).

A identificação de genes relacionados ao transporte de Si em plantas contribuiu significativamente para a compreensão desses processos. Em acumuladoras ativas como o arroz, os genes *OsLsi1* e *OsLsi2* são responsáveis pela absorção de Si pelas raízes e sua distribuição para outras partes da planta via xilema (Swain; Rout, 2020; Yan *et al.*, 2020). Esses genes codificam proteínas que formam canais de influxo e efluxo, permitindo a entrada do Si mediada por aquaporinas e sua redistribuição dentro da planta.

Tabela 1 - Efeito do silício em diferentes culturas ao ataque de diversos insetos-praga.

Cultura	Fonte de Si	Inseto -praga	Efeito do Si em plantas	Referência
<i>Triticum aestivum</i> L. (Trigo)	Ortossilicato de tetraetila (TEOS) (0, 0,3, 1, 2, 3, 4, 5 e 9 mmol/L)	<i>Sitobion avenae</i> F. (Pulgão das espigas)	Aumento da produção de metabólitos secundários (lignina, fenólicos totais, flavonóides, alcalóides e taninos); Produção de hormônios vegetais (ácido jasmônico e ácido salicílico) e da atividade enzimática (Fenilalanina amônia-liase, Polifenol oxidase, Catalase e Lipoxigenase).	Qi <i>et al.</i> (2023)
<i>Medicago sativa</i> (Luzerna)	Solução de Metassilicato de Sódio dissolvido (500 mg L ⁻¹)	<i>Sitona discoideus</i> (Gorgulho-do-trevo)	Aumento da biomassa e nodulação da raiz; Aumento da concentração de Si nas folhas; para o inseto herbívoro a suplementação de Si nas folhas provocou a redução da alimentação.	Ryalls <i>et al.</i> (2023)
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. (Feijão comum)	Silicato de Potássio Líquido (K ₂ SiO ₃) (21% K ₂ O e 32% SiO ₂ , Agsil32, PQ Australia, SA, Austrália)	<i>Tetranychus urticae</i> (Ácaro rajado)	Aumento no acúmulo de Si nas folhas; Aumento da biomassa seca da parte aérea; Aumento na condutância estomática das plantas que foram infestadas e fotossíntese líquida.	Islam; Moore; Johnson (2021)
<i>Cucumis sativus</i> L. (Pepino)	Silicato de Potássio Líquido (K ₂ SiO ₃) (21% K ₂ O e 32% SiO ₂ , Agsil32, PQ Australia, SA, Austrália)	<i>Helicoverpa armigera</i> (Mariposa)	Aumento da biomassa da raiz e parte aérea. A silificação dos tecidos corroborou para a defesa das plantas contra o ataque do inseto-praga.	Islam; Moore; Johnson (2020)

Embora as monocotiledôneas sejam amplamente estudadas devido à sua capacidade de acumular Si, algumas dicotiledôneas também possuem genes homólogos aos identificados em arroz. No pepino, por exemplo, os genes *CsLsi1* e *CsLsi2* desempenham funções semelhantes na absorção de Si pelas raízes e sua distribuição pelo xilema (Sun *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2018).

Apesar dos avanços, o transporte de Si desde as raízes até as folhas ainda não está completamente elucidado em todas as espécies, especialmente em dicotiledôneas classificadas como rejeitativas. Estudos futuros devem focar no entendimento dos mecanismos presentes nessas plantas, dado o menor acúmulo de Si em seus tecidos. A inclusão de pesquisas com dicotiledôneas é crucial para ampliar o conhecimento sobre os mecanismos de transporte e os potenciais benefícios do Si em diferentes espécies.

2.5 Contribuição do biochar como fonte de Si na cultura do feijão-caupi

O material orgânico gerado por plantas de arroz possui alto acúmulo de Si. Embora, o material detenha concentração elevadas deste elemento, sua liberação no solo para que esteja disponível às plantas ocorre de maneira lenta. Em contrapartida, a carbonização da casca de arroz produz cerca de 80 a 90% de sílica solúvel na forma de biochar ou cinza de casca de arroz. A deposição de fitólitos nas plantas, isto é, pequenos cristais de sílica amorfa, depende de alguns fatores a exemplo as partes da planta, bem como a espécie vegetal. A palha de arroz constitui até 10% do fitólito, enquanto a casca é composta por 20% desse material. Em suma, a casca de arroz possui maior quantidade de sílica, do que o próprio grão (Li; Song; Cornelis, 2014; Sun *et al.*; 2019; Mahmad-Toher, 2021).

Para obtenção das cinzas de casca de arroz, o material é exposto a elevadas temperaturas, sendo queimado. A composição química das cinzas depende de vários fatores, incluindo adubação, condições ambientais como temperatura e principalmente, a duração da queima. Esses fatores são responsáveis pela porcentagem de sílica presente nas cinzas da casca de arroz, bem como sua natureza mineralógica (Obboh; Ihom; Markson, 2023).

A sílica tem sido amplamente estudada como potencial agrícola, principalmente no que diz respeito à indução de resistência a estresses bióticos em diversas culturas. Entre essas culturas, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) destaca-se como uma das leguminosas mais importantes cultivadas em regiões tropicais e subtropicais do mundo. No Brasil, essa cultura destaca-se principalmente nas regiões Norte e Nordeste, onde desempenha um papel essencial na economia local, servindo como uma das principais fontes de renda para famílias de baixa renda, além de contribuir para a segurança alimentar devido ao seu alto valor nutricional (Freire Filho *et al.*, 2005; Aghora *et al.*, 2024).

O feijão-caupi é rico em proteínas (Freire Filho *et al.*, 2011), vitaminas, micronutrientes e aminoácidos (Jayathilake *et al.*, 2018). Por essas características, integra a dieta de muitas populações, especialmente em regiões de clima árido e semiárido. Além disso, a cultura apresenta elevada resistência à seca e a altas temperaturas, características que a tornam especialmente adequada para a agricultura de subsistência em condições adversas (Mahesha *et al.*, 2022).

Apesar dessas vantagens, o cultivo do feijão-caupi enfrenta desafios significativos impostos tanto por fatores abióticos quanto bióticos. Entre os fatores bióticos, destacam-se doenças causadas por vírus, ataques de insetos-praga e nematoides parasitas, que podem comprometer severamente a produtividade e a qualidade dos grãos (Sawadogo *et al.*, 2009; Wondimu; Getu; Amsalu, 2021; Barro *et al.*, 2022).

Diante desses desafios, o uso de cultivares resistentes surge como uma das estratégias mais eficazes para mitigar as perdas econômicas associadas ao ataque de insetos herbívoros. Adicionalmente, o emprego do silício na agricultura tem se destacado como uma ferramenta promissora para induzir a resistência adquirida em plantas frente a estresses bióticos. Esse elemento contribui para o fortalecimento das defesas naturais das plantas, promovendo uma maior resiliência ao ataque de pragas e outras adversidades.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de desenvolvimento dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos nas instalações da Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas (UFPI-CPCE), situada no município de Bom Jesus, no Estado do Piauí. Os bioensaios de antixenose e antibiose foram realizadas em casa de vegetação.

3.2 Carbonização da casca de arroz para determinação do silício (biochar)

A casca de arroz in natura foi coletada no município de Redenção do Guruguia, localizado nas proximidades de Bom Jesus-PI. Para utilizá-la como fonte de silício, o material foi submetido a um processo de carbonização em um queimador retangular de zinco. Durante esse processo, a casca de arroz foi manipulada manualmente até atingir uma coloração escura, indicando a carbonização completa.

Após a carbonização, o material foi retirado do queimador e transportado para uma área aberta, onde foi exposto à radiação solar para secagem. Após a secagem completa, a casca de arroz carbonizada (biochar) foi armazenada em um recipiente hermético para evitar a absorção de umidade.

Para determinar o teor de silício e de outros nutrientes presentes no material, uma amostra foi coletada e encaminhada ao Laboratório de Solos. Seguindo a metodologia descrita por Miyazawa *et al.* (2009), constatou-se que o teor de silício da casca de arroz carbonizada foi de 13 g kg⁻¹ (Tabela 2). A dose de silício (biochar e óxido de silício) utilizada nos experimentos foi determinada a partir de experimentos preliminares.

Tabela 2 – Determinação de silício e demais nutrientes presentes no biochar.

Ca	Mg	P	K	Si	Cu	Mn	Fe	Zn
-----mg kg ⁻¹ -----		----- g kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----			
0,1	0,1	0,54	0,5	13,54	1,85	241	125	16,35

Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; P - Fósforo; K - Potássio; Si - Silício; Cu - Cobre; Mn - Manganês; Fe - Ferro; Zn - Zinco.

3.3 Criação e manutenção da população de *Bemisia tabaci* MEAM1

Os insetos adultos utilizados nos bioensaios foram provenientes de uma criação de mosca-branca já estabelecida no laboratório de proteção de plantas, mantida em estufa coberta com telado antiafídeo de 50 mesh. A couve-folha (*Brassica oleracea* L. var. *sabellica*) foi utilizada como cultura hospedeira para a manutenção da criação, sendo cultivada em vasos de cinco litros e adubada conforme as recomendações para a cultura descritas por Ribeiro *et al.* (1999) e com base em análise de solo. As plantas foram mantidas livres de inseticidas para garantir condições ideais para a reprodução dos insetos.

A identificação do biótipo de *B. tabaci* foi realizada no setor de Entomologia da Embrapa Arroz e Feijão (Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil), onde foi conduzida a caracterização molecular. O biótipo registrado foi B, conhecido como Oriente Médio-Ásia Menor 1 (MEAM1) (Rodrigues *et al.*, 2021).

3.4 Bioensaio I - Antixenose

3.4.1 Preferência de oviposição: teste com chance de escolha

A preferência de oviposição e colonização de *B. tabaci* biótipo B foi avaliada seguindo métodos previamente estabelecidos (Valle; Lourenção, 2002; Vieira *et al.*, 2011; Baldin *et al.*, 2017; Rodrigues *et al.*, 2021). O feijão-caupi foi cultivado em vasos com capacidade de 10 kg, preenchidos com solo adubado conforme as

recomendações de Melo *et al.*, (2018) e análise de solo. O tratamento com biochar recebeu 74 g, equivalente a 1,0 g de silício por vaso, enquanto o tratamento com óxido de silício recebeu 2,15 g, também equivalente a 1,0 g de silício por vaso. O tratamento controle recebeu apenas adubação com macronutrientes e micronutrientes.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 (tratamentos: biochar, óxido de silício e controle) x 6 (avaliações diárias), com dez repetições, sendo: (1) 74 g de biochar + infestação de mosca-branca; (2) 2,15 g de óxido de silício + infestação de mosca-branca; (3) controle + infestação de mosca-branca. Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com o inseticida Dermacor® (Clorantraniliprole) e o fungicida Spectro® (Difenoconazol), sendo semeadas seis sementes por vaso. Aos 10 dias após a semeadura, realizou-se o desbaste, mantendo-se apenas uma planta por vaso.

As plantas foram dispostas aleatoriamente dentro da casa de vegetação e, ao atingirem o estágio vegetativo (V4), foram liberados 200 indivíduos adultos de mosca-branca ao lado de cada planta. Os insetos utilizados para a infestação foram coletados com o auxílio de um aspirador entomológico, priorizando casais de mosca-branca, uma vez que os pares geralmente permanecem emparelhados (Byrne; Bellows; Thomas, 1991). O comportamento de voo foi observado entre 7h e 9h da manhã, realizando-se a contagem dos insetos no terço superior das plantas. O número de adultos foi quantificado diariamente durante seis dias consecutivos e novamente aos 24 dias após a infestação (DAI), utilizando um espelho para evitar a dispersão dos insetos durante a contagem na face abaxial de dois folíolos no terço superior das plantas.

Aos 3 DAI, dois folíolos do terço superior de cada planta foram removidos para a contagem do número de ovos em microscópio estereoscópico (aumento de 40 vezes). Posteriormente, foi realizada a medição da área foliar com o equipamento LI-3100C Área Meter (LI-COR® Biosciences) para calcular o número de ovos e ninfas por cm². Aos 24 DAI, a colonização por ninfas de *B. tabaci* foi estimada utilizando uma escala visual de 1 a 5, em que o escore 1 representa folhas com poucas ninfas e exúvias, o escore 5 indica folhas totalmente colonizadas por ninfas e os escores 2 a 4 representam um aumento gradual na colonização, conforme descrito por Baldin *et al.*, (2017). Além da estimativa visual, dois folíolos do terço superior de cada planta foram coletados para a contagem direta do número de ninfas.

3.4.2 Preferência de oviposição: teste sem chance de escolha

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, composto por três tratamentos e cinco blocos, totalizando 30 parcelas. Os tratamentos avaliados foram: (1) 74 g de biochar + infestação de mosca-branca; (2) 2,15 g de óxido de silício + infestação de mosca-branca; e (3) controle + infestação de mosca-branca.

O teste sem chance de escolha foi realizado sob as mesmas condições descritas no experimento anterior (Tópico 3.5.1), utilizando vasos com capacidade para 10 kg de solo, devidamente adubados conforme as recomendações para a cultura. Quando as plantas atingiram o estágio vegetativo V4, dois folíolos de cada planta foram infestados com o auxílio de saquinhos de voil, nos quais foram liberados 200 indivíduos adultos de mosca-branca por vaso. Os insetos utilizados na infestação foram coletados com um aspirador entomológico (11 cm de altura e 4 cm de diâmetro), priorizando casais de mosca-branca, uma vez que, de acordo com Byrne; Bellows; Thomas, (1991), os pares geralmente permanecem pareados.

Após 48 horas da infestação (DAI), os insetos adultos foram removidos, e o número total de ovos presentes nos dois folíolos de cada planta foi contabilizado. Em plantas onde o número de ovos por folha excedia 50, os ovos excedentes foram cuidadosamente removidos para garantir uniformidade nos tratamentos.

3.5 Bioensaio II - Antibiose

O bioensaio de antibiose foi conduzido em casa de vegetação, seguindo um delineamento em blocos ao acaso, composto por seis tratamentos, cinco blocos, e duas repetições por tratamento dentro de cada bloco, totalizando 60 parcelas. Os tratamentos avaliados foram: (1) 74 g de biochar + infestação de mosca-branca; (2) 2,15 g de óxido de silício + infestação de mosca-branca; (3) controle + infestação de mosca-branca; (4) 74 g de biochar + não infestado; (5) 2,15 g de óxido de silício + não infestado; e (6) controle + não infestado.

Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com o inseticida Dermacor® (Clorantraniliprole) e o fungicida Spectro® (Difenoconazol), sendo

semeadas seis sementes por vaso. Aos 10 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, mantendo-se apenas uma planta por vaso.

Quando as plantas atingiram o estágio vegetativo (V4), foram infestadas com mosca-branca. Dois folíolos de cada planta dos tratamentos infestados foram envoltos com saquinhos de voil contendo 100 indivíduos adultos por folíolo, provenientes da criação previamente descrita. Após 48 horas de infestação, os insetos adultos foram removidos. Com o auxílio de um microscópio estereoscópico (aumento de 40x), foram selecionados 50 ovos (com coloração e formato normais) por folíolo, removendo-se os excedentes com hastes flexíveis de algodão umedecidas em água, conforme metodologia descrita por Cruz *et al.* (2014). Em plantas que não apresentavam a quantidade suficiente de ovos, todos os ovos presentes foram contabilizados.

Os parâmetros biológicos avaliados foram: viabilidade dos ovos, período de incubação, período ninfal, período de desenvolvimento de ovo a adulto e viabilidade da fase jovem (emergência dos adultos), com as avaliações realizadas por um período de 30 dias. As observações iniciais ocorreram 5 dias após a infestação (DAI), correspondendo a 120 horas.

3.6 Análise do índice de clorofila de *Vigna unguiculata* sob herbivoria de *Bemisia tabaci* MEAM1

A avaliação do índice de clorofila foi realizada nos bioensaios de antixenose com chance de escolha e de antibiose, em plantas adubadas e não adubadas com silício, tanto infestadas quanto não infestadas. Os pigmentos fotossintéticos, clorofila *a* e *b*, foram medidos utilizando um Medidor Eletrônico de Índice de Clorofila Falker (Modelo CFL 1030).

No bioensaio de antixenose com chance de escolha, as avaliações foram realizadas em todas as plantas, antes da infestação e após 24 horas da infestação. Já no bioensaio de antibiose, o índice de clorofila foi avaliado em três momentos distintos: 24 horas após a infestação, 72 horas após a infestação e 15 dias após a infestação.

3.7 Análise dos componentes de produção do feijão-caupi em condições de casa de vegetação sob herbivoria de *Bemisia tabaci* MEAM1

A produtividade do feijão-caupi foi avaliada nos experimentos de antixenose com chance de escolha e de antibiose, visando analisar a influência do silício como indutor de produção de vagens na presença de *B. tabaci* em duas condições adversas. Para isso, utilizou-se a metodologia adaptada de Souza *et al.* (2019), com a coleta das vagens secas.

Os parâmetros avaliados incluíram: número de vagens secas por planta (NVSP), comprimento das vagens secas (CVS), peso das vagens secas sem grãos (PVSSG), número de grãos secos por vagem (NGPV) e peso de grãos secos por vagem (PGSV).

3.8 Análise dos teores foliares de silício nas plantas de feijão-caupi sob herbivoria de *Bemisia tabaci* MEAM1

O teor de silício nas folhas de feijão-caupi foi determinado seguindo a metodologia de Miyazawa *et al.* (2009), com adaptações. As folhas foram coletadas em sacos de papel, secas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até atingirem peso constante, trituradas em cadinhos de porcelana e armazenadas em recipientes de polietileno para posterior análise química.

O tecido vegetal foi incinerado em mufla a 500 °C por três horas e trinta minutos. Para a determinação do silício por espectrofotometria (660 nm), a cinza resultante foi transferida para frascos de polietileno de 80 mL, aos quais foram adicionados 50 mL de NaOH 1,0%. Em seguida, foram pipetados 5 mL de solução padrão de silício, 1 mL de molibdato a 2%, 1 mL de ácido oxálico a 2%, 1 mL de ácido sulfúrico (1,5 M) e uma pitada de ácido ascórbico. A mistura foi deixada em repouso por 20 minutos.

O teor de silício presente nas cinzas das amostras foi determinado quantitativamente por espectrofotometria, garantindo a precisão dos resultados obtidos.

3.9 Análise estatística

Os dados obtidos nos experimentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), precedida pela verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias, utilizando os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. O teste F foi utilizado para verificar a significância dos fatores avaliados. Quando o teste F apresentou resultados significativos ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($\alpha = 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistical Analysis System (SAS University Edition, 2002).

4 RESULTADOS

4.1 Bioensaio I - Antixenose com chance escolha

As variáveis relacionadas à densidade de ovos e ninfas de *B. tabaci* foram significativamente influenciadas pelos tratamentos avaliados. A análise estatística indicou diferenças significativas tanto para a densidade de ovos/cm² ($F = 27,37$; $p = 0,001$) quanto para a densidade de ninfas/cm² ($F = 16,45$; $p = 0,0004$).

Em relação à preferência para oviposição, plantas tratadas com biochar apresentaram menor densidade de ovos, com média de 2,11 ovos/cm², resultado estatisticamente inferior aos tratamentos com óxido de silício e controle (Figura 1A).

Quanto à densidade de ninfas, destacou-se o efeito positivo da suplementação com óxido de silício, que proporcionou redução significativa na infestação, apresentando apenas 6,56 ninfas/cm², diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Figura 1B).

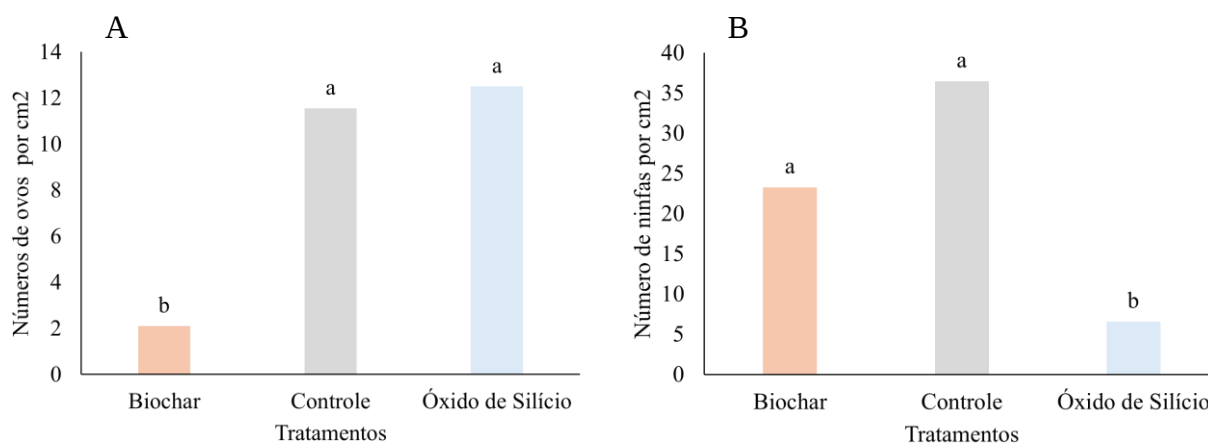


Figura 1 - Média de número de ovos (A) e ninfas (B) de *Bemisia tabaci* MEAM1 por cm² em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos (biochar, óxido de silício e controle). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ($p < 0,05$).

Houve interação significativa entre os fatores tratamento e período de avaliação sobre o número de adultos de *B. tabaci* ($F = 21,55$; $p = 0,0076$). Ao analisar cada tratamento isoladamente ao longo das avaliações, observou-se que plantas

suplementadas com óxido de silício e plantas controle não apresentaram variação estatística significativa no número médio de adultos durante todo o período avaliado. Contudo, é importante destacar que o tratamento com óxido de silício apresentou consistentemente as menores médias numéricas de infestação, mostrando-se menos atrativo aos indivíduos adultos (Figura 2).

Ao comparar os tratamentos dentro de cada período de avaliação, verificou-se que as plantas suplementadas com óxido de silício apresentaram o menor número de adultos na maioria das avaliações (1ª, 3ª, 4ª e 5ª), diferindo significativamente dos tratamentos com biochar e controle (Figura 2). De maneira geral, o tratamento com óxido de silício foi menos atrativo para adultos de *B. tabaci*, exceto na 2ª e 6ª avaliações, quando não foram observadas diferenças estatísticas significativas em relação aos demais tratamentos (Figura 2).

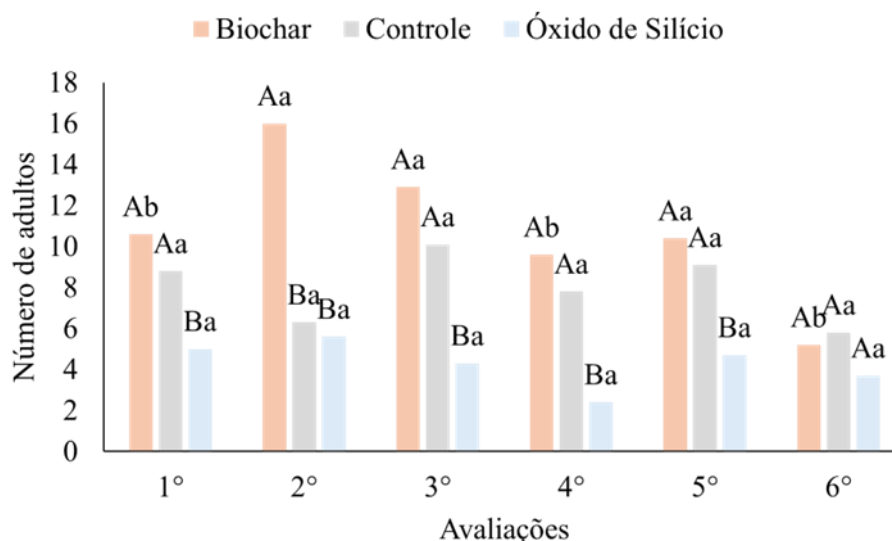


Figura 2 - Número médio de adultos de *Bemisia tabaci* MEAM1 em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos (biochar, óxido de silício e controle) ao longo das avaliações. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam diferenças significativas entre os tratamentos dentro de cada avaliação, enquanto letras minúsculas comparam as diferenças entre todas as avaliações para cada tratamento.

4.2 Bioensaio II - Antixenose sem chance de escolha

No teste sem chance de escolha, houve diferença significativa entre os tratamentos quanto ao número total de ovos de *B. tabaci* ($F = 6,50$; $p = 0,0179$). O tratamento com biochar resultou na menor média de oviposição (41,50 ovos), representando uma redução de aproximadamente 57% em comparação ao controle (96,88 ovos). Por outro lado, plantas suplementadas com óxido de silício apresentaram uma média intermediária (77,00 ovos), não diferindo estatisticamente do tratamento com biochar. Esses resultados sugerem que o biochar exerce um efeito antixenótico mais pronunciado, reduzindo significativamente a oviposição de *B. tabaci* (Figura 3).

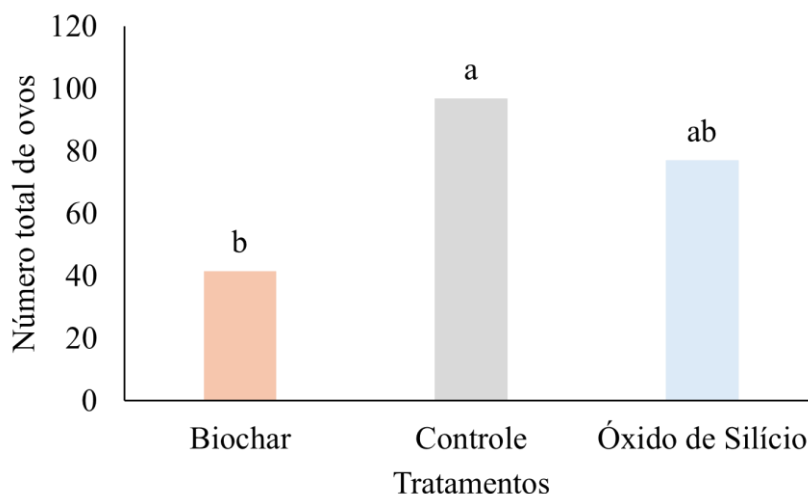


Figura 3 - Número total de ovos de *Bemisia tabaci* MEAM1 em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos (biochar, óxido de silício e controle). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3 Bioensaio III – Antibiose

4.3.1 Desenvolvimento biológico de *Bemisia tabaci* MEAM1

Quanto aos parâmetros biológicos de *B. tabaci*, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis número total de ovos ($F = 22,68$;

$p = 0,001$), número total de ninfas ($F = 39,00$; $p = 0,001$), número total de adultos ($F = 3,97$; $p = 0,0475$) e tempo médio de desenvolvimento de ovo a adulto ($F = 41,31$; $p = 0,0008$). Por outro lado, as variáveis proporção de ovos inviáveis, proporção de ninfas inviáveis, duração média da fase de ovo a ninfa e da fase de ninfa a adulto não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos.

De maneira geral, a suplementação com biochar influenciou todas as variáveis analisadas (número total de ovos, ninfas, adultos e tempo de desenvolvimento ovo-adulto), resultando sempre em médias numéricas inferiores quando comparadas ao controle e ao tratamento com óxido de silício (Figuras 4A, 4B, 4C, 4D). Apesar dessas reduções numéricas, a diferença estatística foi significativa apenas para o número total de ovos, em que o tratamento com biochar apresentou o menor valor médio (38,00 ovos), indicando um forte efeito antibiótico (Figura 4A).

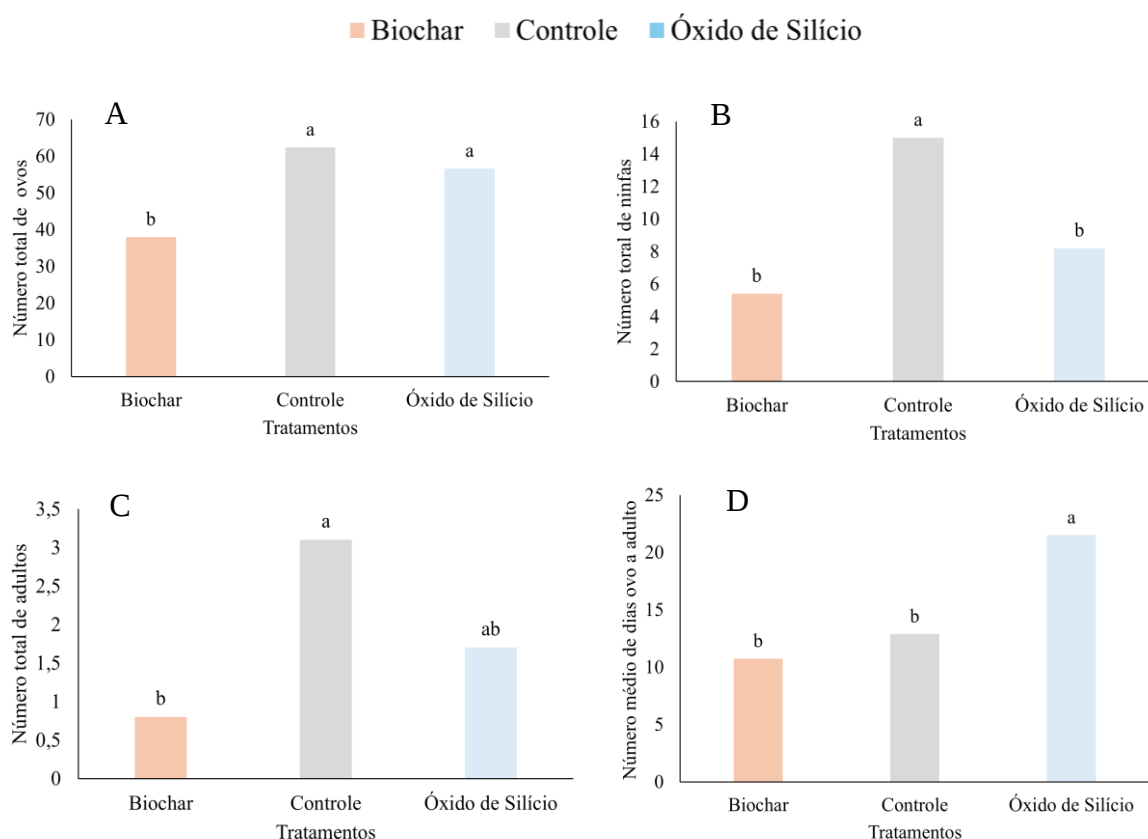


Figura 4 - Número total de ovos (TO), de ninfas (TN), de adultos (TA), e número médio de dias de ovo a adulto (NDOA) de *Bemisia tabaci* MEAM1 em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos (biochar, óxido de silício e controle). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ($p < 0,05$).

O tratamento com biochar evidenciou características de resistência por antibiose e antixenose. A menor preferência para oviposição por *B. tabaci* nesse tratamento caracteriza claramente um efeito antixenótico. Além disso, os impactos negativos observados no desenvolvimento biológico do inseto, expressos pela redução no número total de ovos, ninfas e adultos, confirmam um pronunciado efeito antibiótico. Esses resultados destacam a eficácia do biochar em interferir tanto no comportamento de oviposição quanto no ciclo biológico de *B. tabaci*, quando comparado aos demais tratamentos avaliados.

Observou-se que o período médio de desenvolvimento de ovo até adulto foi significativamente maior nas plantas tratadas com óxido de silício (21,52 dias). Em contrapartida, os indivíduos mantidos nas plantas controles e tratadas com biochar apresentaram períodos de desenvolvimento mais curtos, com médias de 12,90 e 10,75 dias, respectivamente. Esses resultados indicam que a suplementação com óxido de silício pode prolongar significativamente o ciclo biológico de *B. tabaci* (Figura 4D).

4.3.2 Índice de clorofila de *Vigna unguiculata* sob herbivoria de *Bemisia tabaci* MEAM1

Os pigmentos fotossintéticos das plantas de feijão-caupi foram significativamente influenciados pelos tratamentos avaliados. Para o índice de clorofila a (*Clf a*), os maiores valores médios foram observados nas plantas tratadas com casca de arroz (biochar) e no controle (37,57 e 37,29, respectivamente), não havendo diferença estatística entre esses tratamentos (Figura 5A).

Em relação à clorofila b (*Clf b*), o tratamento controle apresentou a maior média (11,63), sendo estatisticamente superior ao tratamento com óxido de silício (10,42). O tratamento com óxido de silício apresentou os menores níveis numéricos de *Clf b*, porém não diferiu estatisticamente do tratamento com biochar (Figura 5B).

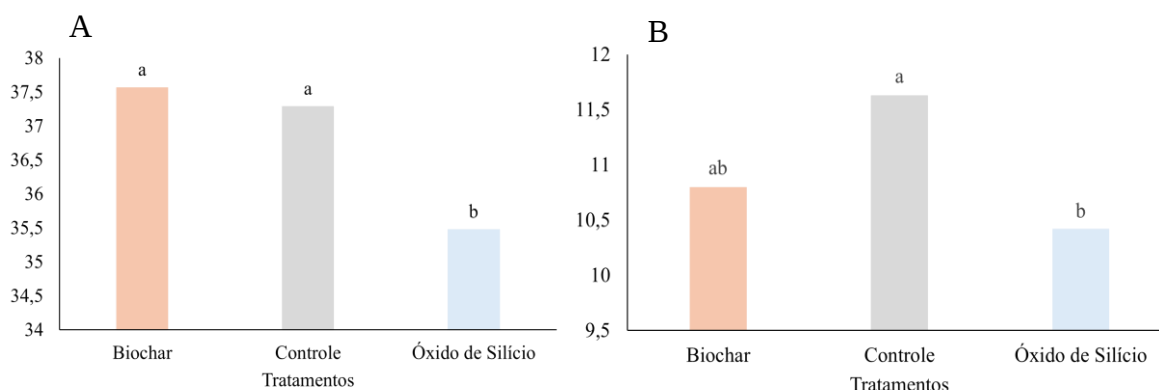


Figura 5 – Teores de clorofila *a* (Clf *a*, A) e *b* (Clf *b*, B) em plantas de feijão-caupi, infestadas e não infestadas por *Bemisia tabaci* MEAM1, e expostas a diferentes tratamentos (biochar, óxido de silício e controle). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3.3 Teores de silício

Houve interação significativa entre os fatores tratamento e infestação para a variável teor de silício nas plantas de feijão-caupi. Nas plantas não infestadas, o maior teor de silício foi observado no tratamento com óxido de silício, enquanto, nas plantas infestadas, o tratamento com biochar apresentou teor numericamente superior, porém sem diferença estatística significativa em relação aos demais tratamentos. Além disso, dentro de cada tratamento, o teor de silício foi consistentemente maior nas plantas não infestadas em comparação às plantas infestadas (Figura 6).

De modo geral, esses resultados indicam que a infestação por *B. tabaci* reduziu significativamente o acúmulo de silício nas plantas de feijão-caupi, independentemente do tratamento aplicado (Figura 6).

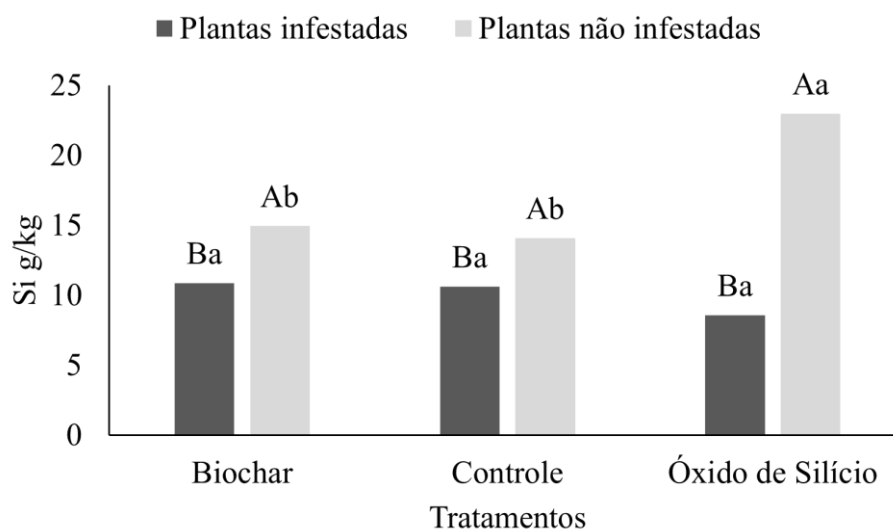


Figura 6 - Teores de silício em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos com biochar, óxido de silício e controle, na presença e ausência de infestação com *Bemisia tabaci* MEAM1. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as diferenças entre plantas infestadas e não infestadas, enquanto letras minúsculas indicam as diferenças entre os tratamentos dentro de cada condição.

4.3.4 Componentes de produção do feijão-caupi em condições de casa de vegetação sob herbivoria de *Bemisia tabaci* MEAM1

As variáveis relacionadas aos componentes produtivos do feijão-caupi apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos aplicados, especialmente quanto ao comprimento das vagens secas (CVS), peso das vagens secas (PVS) e peso dos grãos secos por vagem (PGSV). Por outro lado, a variável número de vagens secas por planta (NVSP) apresentou interação significativa entre os fatores tratamento e infestação. Os resultados detalhados dessas análises estão apresentados na Tabela 4.

O número de vagens secas por planta foi significativamente influenciado pela interação entre a infestação por *B. tabaci* e os diferentes tratamentos. Em plantas não infestadas, os maiores valores foram observados no tratamento com biochar, que não diferiu estatisticamente do controle. Em contraste, a suplementação com óxido de silício resultou em uma redução significativa na produção de vagens secas (Figura 7).

Tabela 3 - Análise de variância dos componentes de produção de plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes tratamentos (biochar, óxido de silício e controle) sob condições infestadas e não infestadas por *Bemisia tabaci* MEAM1.

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios				
		NVSP	CVS	PVS	NGSV	PGSV
Tratamentos (T)	2	2.33 ^{ns}	23.24*	2.60*	17.12 ^{ns}	2.67*
Infestação (I)	1	4.69*	0.00 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.00 ^{ns}
T X I	2	8.11*	10.07 ^{ns}	0.42 ^{ns}	2.80 ^{ns}	0.77 ^{ns}
Erro	30	1.03	5.72	0.35	7.17	0.25
$P_{(T)}$		0.1233	0.0275	0.0025	0.1092	0.0004
$P_{(I)}$		0.0419	0.9939	0.7896	0.9169	0.8887
$P_{(T \times I)}$		0.0019	0.1895	0.3162	0.6794	0.0645

*, ns, significativo a 5% e não significativo, respectivamente pelo teste F. CV - coeficiente de variação; GL - grau de liberdade; NVSP - número de vagens secas por planta; CVS - comprimento de vagens secas; PVS - peso de vagens secas; NGSV - número de grãos secos por vagens; e PGSV - peso de grãos secos por vagens.

No entanto, sob infestação por *B. tabaci*, os tratamentos com biochar e controle apresentaram redução na produção de vagens, possivelmente devido ao estresse biótico causado pela herbivoria. Por outro lado, as plantas tratadas com óxido de silício mostraram um aumento na produção de vagens secas, sugerindo que essa suplementação contribuiu para mitigar os impactos negativos da infestação (Figura 7).

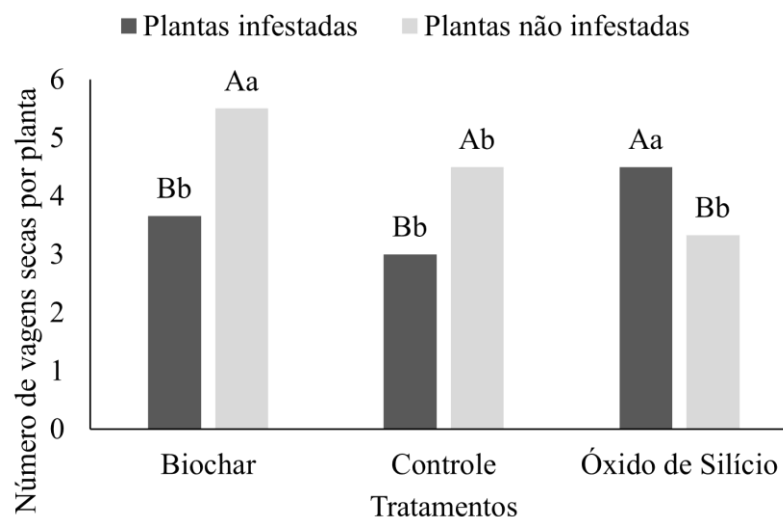


Figura 7 - Número de vagens secas por planta (NVSP) de feijão-caupi sob diferentes tratamentos com biochar, óxido de silício e controle, na presença e ausência de infestação com *Bemisia tabaci* MEAM1. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas indicam as diferenças entre plantas infestadas e não infestadas, enquanto letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada condição.

Quanto aos demais parâmetros produtivos, como comprimento das vagens secas (CVS), peso das vagens secas (PVS) e peso dos grãos secos por vagem (PGSV), verificou-se que ambos os tratamentos com fontes de silício (biochar e óxido de silício) influenciaram positivamente essas variáveis, sem diferenças estatísticas entre eles. No entanto, as plantas do tratamento controle apresentaram desempenho inferior em todos os parâmetros analisados (Figura 8).

Para o número de grãos secos por vagem (NGSV), não foram detectadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Figura 8).

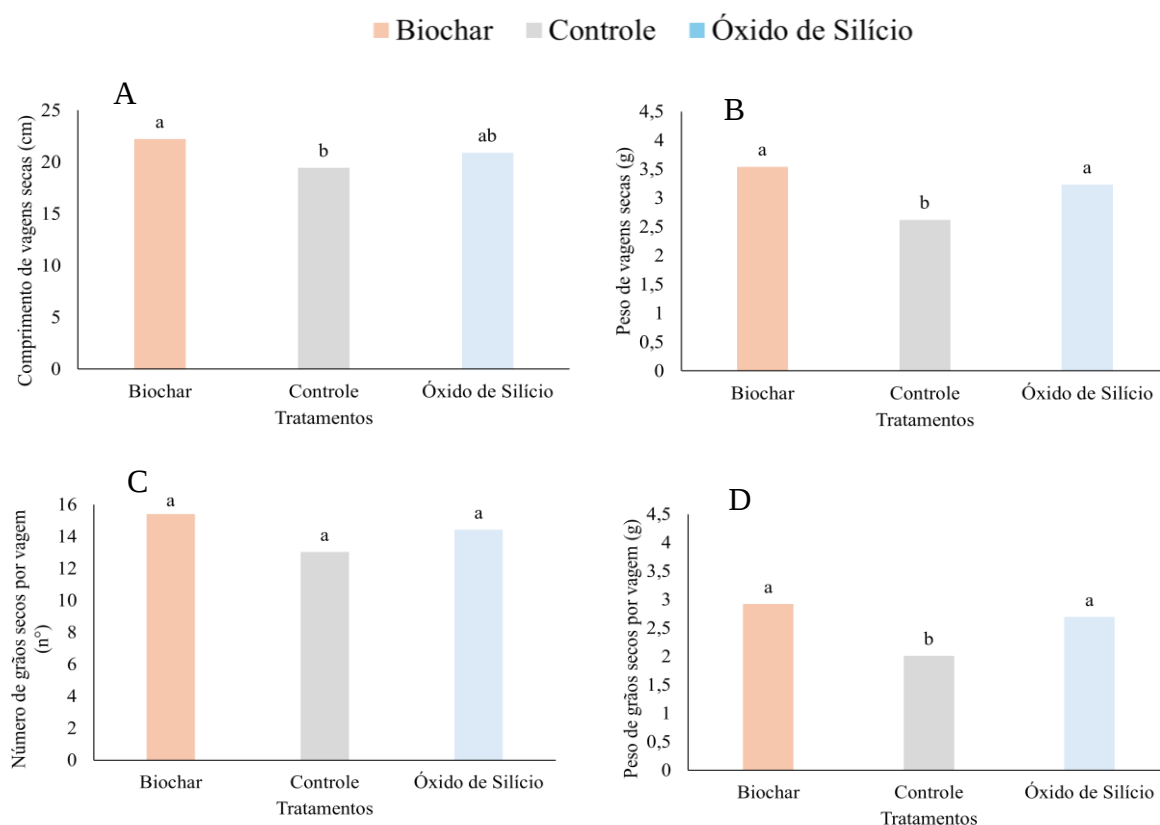


Figura 8 - Componentes de produção do feijão-caupi avaliados no teste de antibiose, em plantas submetidas a diferentes tratamentos (biochar, óxido de silício e controle), sob condições infestadas e não infestadas por *Bemisia tabaci* MEAM1. Comprimento de vagens secas (CVS, A); peso de vagens secas (PVS, B), número de grãos secos por vagem (NGSV, C) e peso de grãos secos por vagem (PGSV, D). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em síntese, a suplementação com fontes de silício, tanto orgânica quanto comercial, contribuiu positivamente para a produtividade do feijão-caupi. De modo geral, os tratamentos com silício apresentaram as maiores médias de produtividade. No entanto, diferenças estatísticas significativas foram detectadas apenas para o

número de vagens secas por planta (NVSP), enquanto as demais variáveis produtivas não diferiram significativamente entre os tratamentos.

5 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo revelam que a suplementação com silício, independentemente da fonte utilizada, conferiu proteção às plantas de feijão-caupi contra a infestação por *B. tabaci*. Além disso, fornecem informações relevantes sobre parâmetros fisiológicos e produtivos, evidenciando os impactos positivos do silício.

O prolongamento do ciclo de vida de *B. tabaci* (de ovo a adulto) foi mais pronunciado em plantas tratadas com óxido de silício (21,52 dias), enquanto as plantas controle (sem suplementação de silício) apresentaram o ciclo mais curto (12,90 dias). Esse efeito pode estar associado ao mecanismo de resistência por antibiose, no qual o silício interfere diretamente no desenvolvimento biológico do inseto, atrasando ou alterando seu ciclo de vida. No entanto, investigações futuras são necessárias para elucidar os fatores específicos envolvidos, como interações com compostos secundários ou alterações estruturais nas folhas.

As plantas desenvolveram mecanismos de defesa físicos e químicos contra herbivoria, incluindo o aumento na densidade de tricomas e a deposição de sílica nos tecidos foliares, que atuam como barreiras físicas contra herbívoros. Estudos sugerem que o silício também pode induzir a produção de compostos fenólicos e ligninas, reforçando as defesas estruturais (Reynolds *et al.*, 2016; Keeping; Meyer, 2020). Esses achados corroboram pesquisas anteriores que destacam o papel multifuncional do silício na indução de defesas estruturais e químicas (Coskun *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2020; Salgado-Luarte *et al.*, 2022).

Os resultados também indicaram diferenças significativas nos mecanismos de resistência entre os tratamentos. A menor oviposição observada nas plantas tratadas com óxido de silício sugere um mecanismo de antixenose, possivelmente relacionado à modificação de fatores físicos ou químicos nas folhas. Por outro lado, nas plantas tratadas com biochar, a resistência por antibiose foi evidenciada pela menor viabilidade ninfal e menor emergência de adultos. Esses achados corroboram estudos como o de Thabet *et al.* (2021), que associaram a deposição de sílica à redução na preferência alimentar e na oviposição de insetos. Adicionalmente, Ahmed *et al.* (2017) observaram que o silício pode modificar a estrutura celular das folhas, dificultando a alimentação de herbívoros sugadores.

Os pigmentos fotossintéticos também foram influenciados pelos tratamentos. As plantas tratadas com biochar apresentaram níveis mais elevados de *Clf a*, o que pode estar relacionado a uma maior eficiência fotossintética e resiliência ao estresse biótico, visto que *B. tabaci* teve seu desenvolvimento interrompido. Estudos indicam que altos níveis de *Clf a* podem estar associados à capacidade das plantas de alocar mais energia para defesas estruturais e químicas, especialmente sob pressão de herbívoros (Reynolds *et al.*, 2016). Essa relação merece maior investigação, uma vez que a eficiência fotossintética pode contribuir para o suprimento energético necessário à manutenção das defesas em condições adversas.

Além disso, os resultados demonstraram aumentos na produção de vagens e grãos. Contudo, é fundamental distinguir claramente os conceitos de "produção" e "produtividade" ao discutir os parâmetros avaliados, como número de vagens por planta (NVSP) e peso de grãos por vagem (PGSV). Tal distinção é essencial para evidenciar como cada parâmetro foi medido e sua contribuição para a eficiência do sistema produtivo (Ma; Yamaji; Mitani-Ueno, 2011).

A aplicabilidade prática dos resultados para sistemas agrícolas em larga escala também é relevante. A utilização do biochar como fonte de silício representa uma alternativa economicamente viável e ambientalmente sustentável. Um estudo econômico preliminar, avaliando o custo-benefício do uso do biochar em comparação com fontes comerciais de silício, poderia reforçar ainda mais a relevância prática deste trabalho (Rahman *et al.*, 2022). A integração de resíduos agrícolas, como o biochar, com práticas agrícolas sustentáveis alinha-se aos princípios da agricultura circular, promovendo a redução de insumos químicos e maximizando a eficiência do sistema agrícola (Mahmad-Toher *et al.*, 2021).

Os mecanismos de resistência observados neste estudo poderiam ser explorados em maior profundidade. Por exemplo, o papel dos compostos fenólicos e ligninas na resistência antibiótica, bem como o aumento na densidade de tricomas associado à suplementação de silício, são aspectos que merecem destaque (Ahmed *et al.*, 2017). Essas características podem explicar as diferenças nos níveis de oviposição e viabilidade ninfal entre os tratamentos e fornecer insights para estratégias futuras de manejo integrado de pragas.

Em suma, os dados obtidos neste estudo demonstram os benefícios do silício na mitigação dos impactos da herbivoria em plantas de feijão-caupi. No entanto, é essencial considerar as limitações do estudo, como as condições ambientais

específicas em que foi conduzido e as variações na pressão de herbivoria. A utilização do biochar como fonte de silício mostra-se uma estratégia promissora para ampliar a sustentabilidade agrícola e fortalecer o manejo integrado de pragas, contribuindo para sistemas agrícolas mais eficientes e ecologicamente equilibrados.

6 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam os múltiplos benefícios da suplementação de silício em plantas de feijão-caupi, destacando sua eficácia como um indutor de resistência ao ataque de *Bemisia tabaci* (biótipo B) e como promotor de melhorias na produtividade das plantas.

A suplementação de silício ofereceu vantagens as plantas, expressando mecanismos de resistência por antibiose e antixenose. A oferta de biochar as plantas infestadas por *B. tabaci* influenciou no desenvolvimento biológico do inseto, reduzindo e retardando o ciclo, diferente da suplementação com óxido de silício que foi capaz de expressar a resistência por antixenose.

A utilização do biochar como fonte de silício demonstrou ser uma alternativa estratégica e economicamente viável, alinhada aos princípios da sustentabilidade agrícola. Além de oferecer proteção contra herbivoria, o uso desse resíduo agrícola promove a agricultura circular, maximizando o aproveitamento de recursos e reduzindo a dependência de insumos químicos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho reforça o papel do silício como um elemento funcional na mitigação de estresses bióticos em sistemas agrícolas, contribuindo para o manejo integrado de pragas de forma prática e ecológica. No entanto, estudos adicionais são necessários para compreender os mecanismos específicos envolvidos, como a interação entre o silício, os compostos secundários das plantas e os fatores estruturais que conferem resistência. A análise em diferentes contextos agrícolas e climáticos poderá fornecer uma base mais sólida sobre o impacto do silício na eficiência produtiva e na sustentabilidade do manejo agrícola.

Assim, a suplementação de silício em plantas de feijão-caupi, especialmente com o uso do biochar como fonte orgânica, representa uma solução promissora para o manejo integrado e sustentável de pragas, contribuindo para a proteção das plantas e o aumento da produtividade em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais.

REFERÊNCIAS

- ABUBAKAR, M.; KOUL, B.; CHANDRASHEKAR, K.; RAUT, A.; YADAV, D. Whitefly (*Bemisia tabaci*) Management (WFM) Strategies for Sustainable Agriculture: A Review. **Agriculture**, v.12, p. 1317, 2022.
- AGHORA, T. S.; HIRA, L. A. L.; REDDY, B. R.; MOHAN N.; MAHADEVAIAH, C.; THANGAM P.; DHANANAJAYA, M. V.; PATIL, N. G.; INDRAJA G.; DUBEY, R. K.; RAI, N.; BEHERA, T. K. Cowpea: Breeding and Genomics. **Vegetable Science**, v. 51, n. 01, p. 1-10, 2024.
- AHMED, M.; FAYYAZ, M.; ASLAM, Z. Silicon-induced resistance in rice against herbivory by *Nilaparvata lugens*. **Pest Management Science**, v. 73, n. 10, 2120-2127, 2017.
- AHMED, S.; JAMIL, S.; SIDDIQUI, M. U. A. Secondary metabolites-God gifted arsenal for plants. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 13, n. 1, p. 38-43, 2024.
- ALVAREZ, D. L.; HAYASHIDA, R.; CAVALLARO, M. C.; SANTOS, D. M.; SANTOS, L. M.; MÜLLER, C.; WATANABE, L. F. M.; BELLO, V. H.; KRAUSE-SAKATE, R.; HOBACK, W.W. Susceptibility of *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) Mediterranean Populations Found in São Paulo, Brazil to 11 Insecticides and Characterization of Their Endosymbionts. **Insects**, v. 15, n. 670, 2024b.
- ALVAREZ, D. L.; SANTOS, D. M.; IKUNO, P. H. P.; MARTINES, C. C.; BENVENGA, S. R.; MULLER, C.; KRAUSE-SAKATE, R.; OLIVEIRA, R. C. Occurrence of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) Middle East–Asia Minor 1 (MEAM1) and Mediterranean (MED) in Commercial Fields of *Solanum lycopersicum* in Brazil. **Agronomy**, v.14, n. 2516, 2024a.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to Copper. **Plant physiology**, v. 14, n. 2, p. 371-375, 1939.
- BALDIN, E. L. L.; CRUZ, P. L.; MORANDO, R.; SILVA, I. F.; BENTIVENHA, J. P. F.; TOZIN, L. R. S.; RODRIGUES, T. M. Characterization of Antixenosis in Soybean Genotypes to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B. **Journal of economic entomology**, v. 110, n. 4, p. 1869-1876, 2017.
- BALDIN, E. L. L.; DOMINGOS, G. M.; BENTIVENHA, J. P. F.; CANASSA, V. F.; LOURENÇÃO, A. L. Antibiosis and antixenosis resistance of collard genotypes to *Bemisia tabaci* MEAM1 (Hemiptera: Aleyrodidae). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 42, p.1783-1793, 2021.
- BARRO, A.; TIGNEGRE, J. B.; COULIBALY, Z.; KIEBRE, Z.; NANAMA, J.; SAWADOGO, M.; CORDEA, M. Screening of vegetable cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] varieties introduced in Burkina Faso for Cowpea aphid-borne mosaic virus resistance. **Journal of BioScience and Biotechnology**, v. 11, n. 1, p. 37-45, 2022.

BARRO, P. J.; LIU, S. S.; BOYKIN, L. M.; DINSDALE, A. B. *Bemisia tabaci*: a statement of species status. **Annual review of entomology**, v. 56, p. 1-19, 2011.

BYBORDI, A. Effect of ascorbic acid and silicium on photosynthesis, antioxidant enzyme activity, and fatty acid contents in canola exposure to salt stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 10, p. 1610-1620, 2012.

BYRNE, D. N.; BELLOWES, J. R.; THOMAS, S. Whitefly biology. **Annual review of entomology**, v. 36, n. 1, p. 431-457, 1991.

CAMERON, R.; LANG, E. B.; ANNAN, I. B.; PORTILLO, H. E.; ALVAREZ, J. M. Use of fluorescence, a novel technique to determine reduction in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) nymph feeding when exposed to Benevia and other insecticides. **Journal of Economic Entomology**, v. 106, n. 2, p. 597-603, 2013.

CHAKRABORTY, S.; GERSHENZON, J.; SCHUSTER, S. Comparing two strategies of counter-defense against plant toxins: A modeling study on plant–herbivore interactions. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 1197757, 2023.

CLISSOLD, F. J. The biomechanics of chewing and plant fracture: mechanisms and implications. **Advances in Insect Physiology**, v. 34, p. 317-72, 2008.

COOKE, J.; LEISHMAN, M. R. Consistent alleviation of abiotic stress with silicon addition: a meta-analysis. **Functional Ecology**, v. 30, p.1340-1357, 2016.

CORREA, R. S.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; CARVALHO, G. A. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 429-433, 2005.

COSKUN, D.; DESHMUKH, R.; SONAH, H.; MENZIES, J. G.; REYNOLDS, O.; MA, J. F.; KRONZUCKER, H. J.; BÉLANGER, R. R. The controversies of silicon's role in plant biology. **The New phytologist**, v. 221, n. 1, p. 67-85, 2019.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; ANTUNES, C. S. Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) por silício e acibenzolar-S-methyl. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 393-397, 2007.

CRUZ, P. L.; BALDIN, E. L. L.; CASTRO, M. J. Characterization of antibiosis to the silverleaf whitefly *Bemisia tabaci* biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) in cowpea entries. **Journal of Pest Science**, v. 87, p. 639-645, 2014.

DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. **Annual review of phytopathology**, v. 55, p. 85-107, 2017.

EL HAMSS, H.; MARUTHI, M. N.; ALLY, H. M.; OMONGO, C. A.; WANG, H. L.; VAN BRUNSCHOT, S.; COLVIN, J.; DELATTE, H. Spatio-temporal changes in endosymbiont diversity and composition in the African cassava whitefly, *Bemisia tabaci* SSA1. **Frontiers in microbiology**, v. 13, n. 986226, 2022.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v. 35, p. 24-30, 2005.

FREW, A.; POWELL, J. R.; GLAUSER, G.; BENNETT, A. E.; JOHNSON, S. N. Mycorrhizal fungi enhance nutrient uptake but disarm defences in plant roots, promoting plant-parasitic nematode populations. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 126, p. 123-132, 2018.

GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p. 201-213, 2012.

HAJI, F. N. P.; FERREIRA, R. C. F.; MOREIRA, A. N. Descrição morfológica, aspectos biológicos, danos e importância econômica. In: HAJI, F. N. P.; BLEICHER, E. (eds). **Avanços no manejo da mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Hemiptera, Aleyrodidae)**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2004. p. 21-30.

HALL, C. R.; WATERMAN, J. M.; VANDEGEER, R. K.; HARTLEY, S. E.; JOHNSON, S. N. The role of silicon in antiherbivore phytohormonal signalling. **Frontiers in Plant Science**, v.10, 2019.

HANDRECK, K. A.; JONES L. H. P. Uptake of monosilicic acid by *Trifolium incarnatum*. **Australian Journal of Biological Sciences** v. 20, p. 483-486, 1967.

HARTLEY, S. E.; FITT, R. N.; MC LARNON, E. L.; WADE, R. N. Defending the leaf surface: intra- and inter-specific differences in silicon deposition in grasses in response to damage and silicon supply. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 35, 2015.

HUNT, J. W.; DEAN, A. P.; WEBSTER, R. E.; JOHNSON, G. N.; ENNOS, A. R. A novel mechanism by which silica defends grasses against herbivory. **Annals of botany**, v. 102, n. 4, p. 653-656, 2008.

ISLAM, T.; MOORE, B. D.; JOHNSON, S. N. Silicon suppresses a ubiquitous mite herbivore and promotes natural enemy attraction by altering plant volatile blends. **Journal of Pest Science**, v. 95, p. 423-434, 2021.

ISLAM, TARIKUL.; MOORE, BEN D.; JOHNSON, S. N. Novel evidence for systemic induction of silicon defences in cucumber following attack by a global insect herbivore. **Ecological Entomology**, v. 45, n. 6, p. 1373-1381, 2020.

JAYANTHI, P.; GEETANJALI, A. S. Molecular characterization to study the genetic diversity of begomoviruses occurring in the major chilli growing areas of Tamil Nadu state of India. **International Microbiology**, p. 1-14, 2024.

JAYATHILAKE, C.; VISVANATHAN, R.; DEEN, A.; BANGAMUWAGE, R.; JAYAWARDANA, B. C.; NAMMI, S.; LIYANAGE, R. Cowpea: an overview on its

nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4793-4806, 2018.

JOHNSON, S. N.; WATERMAN, J. M.; WUHRER, R.; ROWE, R. C.; HALL, C. R.; CIBILIS-STEWART, X. Siliceous and non-nutritious: Nitrogen limitation increases anti-herbivore silicon defences in a model grass. **Journal of Ecology**, v. 109, n. 11, p. 3767-3778, 2021.

KEDAR, S. C.; SAINI, R. K.; KUMARANAG, K. M. Biology of cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on cotton. **Journal of Entomological Research**, v. 38, n. 2, p. 135-139, 2014.

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-mediated resistance of sugarcane to Eldana saccharina. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 150, p. 168-177, 2020.

KHALID, M. Z.; AHMED, S.; AL-ASHKAR, I.; EL SABAGH, A.; LIU, L.; ZHONG, G. Evaluation of Resistance Development in *Bemisia tabaci* Genn. (Homoptera: Aleyrodidae) in Cotton against Different Insecticides. **Insects**, v.12, n. 11, p. 996, 2021.

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

KUNDU, P.; BERA, P.; MISHRA, S.; VADASSERY, J. Regulatory role of phytohormones in the interaction of plants with insect herbivores. In: KHAN, M. I. R.; POÓR, P.; SINGH, A. (eds). **Plant Hormones in Crop Improvement**. Academic Press, 2023. p. 41-64.

LEV-YADUN, S.; HALPERN, M. Extended phenotype in action. Two possible roles for silica needles in plants: not just injuring herbivores but also inserting pathogens into their tissues. **Plant Signaling & Behavior**, v. 14, n. 7, p. 1609858, 2019.

LI, S. J.; REN, S. L.; XUE, X.; REN, S. X.; CUTHBERTSON, A. G.; VAN DAM, N. M.; QIU, B. L. Efficiency of plant induced volatiles in attracting *Encarsia formosa* and *Serangium japonicum*, two dominant natural enemies of whitefly *Bemisia tabaci* in China. **Pest management science**, v. 70, n. 10, p. 1604-1610, 2014.

LI, Z.; SONG, Z.; CORNELIS, J. T. Impact of rice cultivar and organ on elemental composition of phytoliths and the release of bio-available silicon. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 529, 2014.

LIU, Y. X.; HAN, W. H.; WANG, J. X.; ZHANG, F. B.; JI, S. X. ZHONG, Y. W. LIU, S. S.; WANG, X. W. Differential induction of JA/SA determines plant defense against successive leaf-chewing and phloem-feeding insects. **Journal of Pest Science**, p. 1-16, 2024.

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

MA, J. F.; YAMAJI, N.; MITANI-UENO, N. Transport of silicon from roots to panicles in plants. *Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and biological sciences*, v. 87, n. 7, p. 377-385, 2011.

- MAHESHA, H. S.; KEERTHI, M. C.; SHIVAKUMAR, K. V.; BHARGAVI, H. A.; SAINI, R. P.; MANJUNATHA, L.; HICKOK, D. BLAIR, M. W. Development of Biotic Stress Resistant Cowpea. In: KOLE, C. (eds). **Genomic Designing for Biotic Stress Resistant Pulse Crops**. Springer, Cham. 2022. p. 213-251.
- MAHMAD-TOHER, A. S.; GOVENDER, N.; DORAIRAJ, D.; WONG, M. Y. Comparative evaluation on calcium silicate and rice husk ash amendment for silicon-based fertilization of Malaysian rice (*Oryza sativa* L.) varieties. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 9, p. 1336-1347, 2021.
- MARCHI, B. R.; KINENE, T.; MBORA WAINAINA, J.; KRAUSE-SAKATE, R.; BOYKIN, L. Comparative transcriptome analysis reveals genetic diversity in the endosymbiont *Hamiltonella* between native and exotic populations of *Bemisia tabaci* from Brazil. **PLoS One**, v. 13, p. 0201411, 2018.
- MARUBAYASHI, J. M.; YUKI, V. A.; WUTKE, E. B. Transmissão do Cowpea mild mottle virus pela mosca branca *Bemisia tabaci* biótipo B para plantas de feijão e soja. **Summa Phytopathologica**, v. 36, p. 158-160, 2010.
- MASSEY, F. P.; ENNOS, R. A.; HARTLEY, S. E. Herbivore specific induction of silica-based plant defences. **The ecology**, v. 152, p. 677-683, 2007.
- MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, v. 78, p. 281-291, 2009.
- MBATA, G. N.; LI, Y.; WARSI, S.; SIMMONS, A. M. Susceptibility of Yellow Squash and Zucchini Cultivars to the Sweetpotato Whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius (MEAM1), in the Southeastern United States. **Insects**, v. 15, n. 6, p. 429, 2024.
- MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q. **Recomendação de adubação e calagem para o feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio Norte. 2018. 8 p. (Comunicado Técnico, 249)
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. Análise de tecido vegetal. In Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. **Revista e ampliada**, v. 2, p.191-233, 2009.
- MOODLEY, V.; GUBBA, A.; MAFONGOYA, P. L. Emergence and Full Genome Analysis of *Tomato Torrado Virus* in South Africa. **Viruses**, v. 12, n.10, p. 1167, 2020.
- MORAES, J. C.; FERREIRA, R. S.; COSTA, R. R. Indutores de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn., 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1260-1264, 2009.
- MORAES, L. A.; MULLER, C.; BUENO, R. C. O. F.; SANTOS, A.; BELLO, V. H.; MARCHI, B. R.; WATANABE, L. F. M.; MARUBAYASHI, M. SANTOS, B. R.; YUKI, V. A.; TAKADA, H. M.; BARROS, D. R.; NEVES, C. G.; SILVA, F. N.; GOLÇALVES, M.; GHANIM, M.; PAVAN, M. A.; SAKATE, R. K. Distribution and phylogenetics of whiteflies and their endosymbiont relationships after the Mediterranean species invasion in Brazil. **Scientific Reports**, v. 8, n. 14589, 2018.

MOSCARDI, F.; BUENO, A. F. B.; GÓMEZ, D. R. S.; ROGGIA, S.; CAMPO, C. B. H.; POMARI, A. F. CORSO, I. C.; YANO, S. A. C. Artrópodes que atacam as folhas da soja. Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; FERREIRA, B. S. C.; MOSCARD, F. (eds). **Soja: Manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-praga**. Brasília: Embrapa Soja. 2012. 859 p.

NAGARATNA, W.; KALLESHWARASWAMY, C. M.; DHANANJAYA, B. C. Effect of Silicon and Plant Growth Regulators on the Biology and Fitness of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, a Recently Invaded Pest of Maize in India. **Silicon**, v. 14, p.783–793, 2021.

NJOROGE, M. K.; MUTISYA, D.L.; MIANO, D. W.; KILALO, D. C. Whitefly species efficiency in transmitting cassava mosaic and brown streak virus diseases. **Cogent, Biology**, v. 3, n. 1, p. 1311499, 2017.

NOVAES, N. S.; LOURENÇÃO, A.L.; BENTIVENHA, J. P. F. BALDIN, E. L. L.; MELO, A. M. T. Characterization and potential mechanisms of resistance of cucumber genotypes to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Phytoparasitica**, v. 48, p. 643-657, 2020.

NURROHMAN, E.; ZUBAIDAH, S.; KUSWANTORO, H. The number of trichoma leaves, preference of *Bemisia tabaci*, and resistance soybean genotype against cowpea mild motle virus after treatment variation doses of Nitrogen. **Bioscience**, v. 6, n. 1, p. 48-61, 2022.

OBOH, I. O.; IHOM, A. P.; MARKSON, I. E. Use of rice husk and rice husk ash for metallurgical grade silicon: the production, purification and upgrade. **International Journal of Engineering and Modern Technology**, v. 9, n. 1, p. 83-99, 2023.

PAINTER, R. H. The economics of insect resistance in crop plants. **Annual Review of Entomology**, v. 2, p. 371-402, 1951.

PANDA, N.; KHUSH, G. S. **Host plant resistance to insects**. 1. ed. Wallingford: CAB International, 1995.

PERRING, T. M.; STANSKY, P. A.; LIU, T. X.; SMITH, H. A.; ANDREASON, S. A. Whiteflies: Biology, ecology, and management. In: Sustainable management of arthropod pests of tomato. **Academic Press**, 2018. p. 73-110.

PETERS, D. H.; GREENBERG, L. O.; FATOUROS, N. E. Oviposition strategies in Pieridae butterflies and the role of an egg-killing plant trait therein. **Ecology and Evolution**, v. 14, n. 7, p. e11697, 2024.

QI, X.; XUE, X.; WANG, Z.; LI, S. ZHANG, Z. HAN, Y. WANG, Y.; JIANJ, Y. Silicon application enhances wheat defence against *Sitobion avenae* F. by regulating plant physiological-biochemical responses. **Basic and Applied Ecology**, v. 74, p. 13-23, 2023.

RAHMAN, A. et al. Silicon-based fertilizers for sustainable agriculture. **Agronomy**, v. 12, n. 4, p. 789, 2022.

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

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

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-enhanced resistance to pests and diseases in sugarcane: A review. **Annals of Applied Biology**, v. 169, n. 1, p. 1-12, 2016.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação, Viçosa: CFSEMG. 1999. 312 p.

RODRIGUES, R. H. F.; SILVA, L. B.; ALMEIDA, L. F. O.; SILVA, S. R.; SOBRINHO, N.; MAGGIONI, K. RODRIGUES, T. F.; PAVAN, B. E. Vertical distribution of *Bemisia tabaci* on soybean and attractiveness of cultivars. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 169, n. 7, p. 610-622, 2021.

RYALLS, J. M. W.; GHERLEND, A. N.; ROWE, R. C.; MOORE, B. D.; JOHNSON, S. N. Silicon supplementation and jasmonate activation synergistically increase phenolic defences against a legume herbivore. **Journal of Ecology**, v. 111, n. 10, p. 2208-2217, 2023.

SACILOTTO, M.G.; SOUZA, F. S. F.; BALDIN, E. L. L. CARBONARI, C. A.; LOURENÇÃO, A. L. Comparison of the performance of *Bemisia tabaci* MEAM1 (Hemiptera: Aleyrodidae) on weed and cultivated plant species. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 18, p. 55-63, 2023.

SALGADO-LUARTE, C., GONZÁLEZ-TEUBER, M.; MADRIAZA, K.; GIANOLI, E. "Trade-Off between Plant Resistance and Tolerance to Herbivory: Mechanical Defenses Outweigh Chemical Defenses". **Ecology**, v. 104, n. 1, p. 3860, 2022.

SAWADOGO, A.; THIO, B.; KIEMDE, S.; DRABO, I.; DABIRE, C.; OUEDRAOGO, J.; MULLENS, T. R.; EHLERS, J. D.; ROBERTS, P. A. Distribution and Prevalence of Parasitic Nematodes of Cowpea (*Vigna unguiculata*) in Burkina Faso. **Journal of nematology**, v. 41, n. 2, p. 120-127, 2009.

SCHNURRER, F.; PAETZ, C. Reductive Conversion Leads to Detoxification of Salicortin-like Chemical Defenses (Salicortinoids) in Lepidopteran Specialist Herbivores (Notodontidae). **Journal of chemical ecology**, v. 49, p. 251-261, 2023.

SILVA, P. H. S.; BLEICHER, E.; CARNEIRO, J. S.; BARBOSA, F. R. Manejo da mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B na cultura do caupi. In: HAJI, F. N. P.; BLEICHER, E. (eds). **Avanços no manejo da mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae)**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2004. p.121-129.

SINGH, A.; KUMAR, A.; HARTLEY, S.; SINGH, I. K. Silicon: Its Ameliorative Effect on Plant Defense against Herbivory. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 21, p. 6730-6743, 2020.

SMITH, C. M. **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. Dordrecht: Springer, 2005.

SMITH, C. M.; CLEMENT, S. L. Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annual review of entomology**, v. 57, p. 309-328, 2012.

SOLANKI, R. D.; JHA, S. Population dynamics and biology of whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius) on sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 1, p. 3055-3058, 2018.

SPORLEDER, M.; GAMARRA, H.; CARHUAPOMA, P.; GOICOCHEA, L.; KROSCHER, J.; KREUZE, J. A temperature-dependent phenology model for *Bemisia tabaci* MEAM1 (Hemiptera: Aleyrodidae). **Environmental entomology**, v. 52, n. 5, p. 832-846, 2023.

SUN, H.; DUAN, Y.; QI, X.; ZHANG, L.; HUO, H.; GONG, H. Isolation and functional characterization of CsLsi2, a cucumber silicon efflux transporter gene. **Annals of botany**, v. 122, n. 4, p. 641-648, 2018.

SUN, H.; GUO, J.; DUAN, Y.; ZHANG, T.; HUO, H.; GONG, H. Isolation and functional characterization of CsLsi1, a silicon transporter gene in *Cucumis sativus*. **Physiologia plantarum**, v. 159, n. 2, p. 201-214, 2017.

SUN, X.; LIU, Q.; TANG, T.; CHEN, X.; LUO, X. Silicon fertilizer application promotes phytolith accumulation in rice plants. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 425, 2019.

SWAIN, R.; ROUT, G. R. Silicon mediated alleviation of salinity stress regulated by silicon transporter genes (Lsi1 and Lsi2) in Indica rice. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, p. 20180513, 2020.

TAKAHASHI, E.; MA, J. F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**, v. 2, p. 99-102, 1990.

TAYAL, M.; SOMAVAT, P.; RODRIGUEZ, I.; THOMAS, T.; CHRISTOFFERSEN, B.; KARIYAT, R. Polyphenol-Rich Purple Corn Pericarp Extract Adversely Impacts Herbivore Growth and Development. **Insects**, v.11, n. 2, p. 98, 2020.

TEIXEIRA, N. C. VALIM, J. O. S.; OLIVEIRA, M. G. A.; CAMPOS, W. G. Combined effects of soil silicon and drought stress on host plant chemical and ultrastructural quality for leaf-chewing and sap-sucking insects. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 206, n. 2, p. 187-201, 2019.

THABET, A. F.; BORAEI, H. A.; GALAL, O. A. EL- SAMAHY, M. F. M.; 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.

VALLE, G. E.; LOURENÇÃO, A. L. Resistance of soybean genotypes to *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 285-295, 2002.

- VIEIRA, S. S.; BUENO, A. D. F.; BOFF, M. I. C.; BUENO, R. C. O. F.; HOFFMANCAMPO, C. B. Resistance of soybean genotypes to *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, v. 40, n. 1, p. 117-122, 2011.
- WAHYUNI, D. S. C.; CHOI, Y. H.; LEISS, K. A.; KLINKHAMER, P. G. L. Morphological and Chemical Factors Related to Western Flower Thrips Resistance in the Ornamental Gladiolus. **Plants**, v. 10, p. 1384, 2021.
- WANG, H.; SONG, J.; HUNT, B. J.; ZUO, K.; ZHOU, H.; HAYWARD, A.; LI, B.; XIAO, Y.; GENG, X.; BASS, C.; ZHOU, S. UDP-glycosyltransferases act as key determinants of host plant range in generalist and specialist *Spodoptera* species. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 121, n. 19, 2024.
- WATANABE, L. F. M.; BELLO, V. H.; DE MARCHI, B. R.; SILVA, F. B.; FUSCO, L. M.; SARTORI, M. M. P.; PAVAN, M. A.; SAKATE, R. K. Performance and competitive displacement of *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED cryptic species on different host plants. **Crop Protection**, v. 124, p. 104860, 2019.
- WEI, K.; LI, J.; DING, T. B.; LIU, T. X.; CHU, D. Transmission characteristics of Tomato chlorosis virus (ToCV) by *Bemisia tabaci* MED and its effects on host preference of vector whitefly. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 9, p. 2107-2114, 2019.
- WONDIMU, M.; GETU, E.; AMSALU, B. Preliminary studies on cowpea genotypes resistance to *Callosobruchus maculatus* F.(Coleoptera: Chrysomelidae) in Ethiopia. **Journal of Entomology and Nematology**, v. 13, n. 2, p. 19-25, 2021..
- WU, H. Y.; LI, W. H.; WENG, S. H.; TSAI, W. S.; TSAI, C. W. Differential Effects of Two Tomato Begomoviruses on the Life History and Feeding Preference of *Bemisia tabaci*. **Insects**, v. 14, n. 11, p. 870, 2023.
- XUE, Y.; WANG, Y.; CHEN, J.; ZHANG, G.; LIU, W.; WAN, F.; ZHANG, Y. Disparities in Genetic Diversity Drive the Population Displacement of Two Invasive Cryptic Species of the *Bemisia tabaci* Complex in China. **International journal of molecular sciences**, v. 25, n. 14, p. 7966, 2024.
- YAN, G.; FAN, X.; TAN, L.; YIN, C.; LI, T.; LIANG, Y. Root silicon deposition and its resultant reduction of sodium bypass flow is modulated by OsLsi1 and OsLsi2 in rice. **Plant physiology and biochemistry**, v. 158, p. 219-227, 2020.
- YANG, F.; SHEN, H.; HUANG, T.; YAO, Q.; HU, J.; TANG, J.; ZHANG, R.; TONG, H.; WU, Q.; ZHANG, Y.; SU, Q. Flavonoid production in tomato mediates both direct and indirect plant defences against whiteflies in tritrophic interactions. **Pest management science**, v. 79, n. 11, p. 4644-4654, 2023.
- ZHANG, P. J.; ZHAO, C.; YE, Z. H.; YU, X. P. Trade-off between defense priming by herbivore-induced plant volatiles and constitutive defense in tomato. **Pest management science**, v. 76, n. 5, p. 1893-1901, 2020.