

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DIANA CRISTINA DA SILVA COSTA

**RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA A INSETOS OCASIONADA PELOS
ACILAÇUCARES E O EFEITO DO SILÍCIO NO AUMENTO DA RESISTÊNCIA
E NO DESEMPENHO AGRONÔMICO NO TOMATEIRO**

UBERLÂNDIA/MG

2024

DIANA CRISTINA DA SILVA COSTA

**RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA A INSETOS OCACIONADA PELOS
ACILAÇUCARES E O EFEITO DO SILÍCIO NO AUMENTO DA RESISTÊNCIA
E NO DESEMPENHO AGRONÔMICO NO TOMATEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, para obtenção do título de “Doutor”.

Área de concentração: Fitotecnia

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio

UBERLÂNDIA/MG

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C837r
2024

Costa, Diana Cristina da Silva, 1983-

Resistência constitutiva a insetos ocasionada pelos acilaçucares e o efeito do silício no aumento da resistência e no desempenho agrônômico no tomateiro [recurso eletrônico] / Diana Cristina da Silva Costa. - 2024.

Orientador: Marcus Vinicius Sampaio.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.5066>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

I. Agronomia. I. Sampaio, Marcus Vinicius, 1971-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

André Carlos Francisco
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408

Aos meus amados pais, Isabel Onofre Diniz da Silva e Virgílio André da Silva, ao meu esposo Carlos Henrique e aos meus filhos, Ana Clara e Pedro Henrique.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me proporcionado perseverança e serenidade para concluir este trabalho, e por ter colocado pessoas iluminadas em minha caminhada, sem as quais não teria conseguido.

Ao meu esposo, Carlos Henrique, por estar ao meu lado em mais essa conquista e por ser meu porto seguro. Obrigada, meu amor!

A minha irmã, Tania, pelo amor incondicional, cuidado, carinho, apoio e encorajamento do início ao fim dessa minha jornada. Obrigada pelo incentivo em tudo que me propus a fazer.

A minha amiga Marcela Cabral, irmã de coração, por acreditar em meu potencial, me incentivar e rir comigo, mesmo em situações difíceis. Você é para mim o mais belo exemplo de alegria, força e superação.

Aos amigos e familiares que de alguma forma me mantiveram firme nesse propósito.

Ao Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio, pela orientação, valiosos ensinamentos, compreensão e apoio.

Ao professor Gabriel Maciel, pela oportunidade e confiança.

Aos professores do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade de Federal de Uberlândia (UFU), pelos valiosos ensinamentos.

Aos colegas e amigos do Doutorado em Agronomia da UFU, que estiveram de alguma forma presentes durante essa etapa, obrigado pelo companheirismo!

A Marcela e ao Ricardo, integrantes do grupo Lacob, pela ajuda e parceria nesse trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios e integrantes do grupo de melhoramento em hortaliças, pela ajuda e parceria nesse trabalho.

RESUMO

COSTA, Diana Cristina Silva. **Resistência constitutiva a insetos ocasionada pelos acilaçucares e o efeito do silício no aumento da resistência e no desempenho agrônômico no tomateiro.** 2024. 53 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*), durante seu ciclo de cultivo, apresenta sérios problemas fitossanitários, devido a sua alta susceptibilidade às pragas, o que eleva a necessidade de se conhecer os compostos de defesa responsáveis pela resistência a insetos nesta cultura. O silício (Si) é capaz de aumentar a defesa constitutiva das plantas, porém, estudos com tomateiros são escassos, principalmente em genótipos com alto grau de resistência constitutiva. Assim, este trabalho teve como objetivos avaliar a resistência constitutiva a insetos, a interação do Si com a resistência constitutiva e com a produtividade e detectar os metabólitos secundários de defesa em tomateiro anão da linhagem UFU MC TOM 1. As relações entre o teor de acilaçúcar e o teor de Si nas folhas com a resistência constitutiva dos genótipos também foram avaliadas. Para avaliar a resistência constitutiva e a relação do Si com a resistência das plantas foram avaliadas as injúrias provocadas nas folhas por *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) e nos frutos do tomateiro por *Neoleucinodes elegantalis* (Guennée) (Lepidoptera: Crambidae), em condições de campo, de quatro genótipos: UFU MC TOM 1, Santa Clara (padrão de suscetibilidade) e dois híbridos (LN4x2B3 e LN5x5B1) provenientes do cruzamento de plantas com porte normal versus plantas de UFU MC TOM 1. Para a detecção de compostos de defesa, o perfil metabólico da linhagem UFU MC TOM 1 foi comparado ao de um genótipo suscetível (cv. Santa Clara) por meio da abordagem metabolômica em plantas produzidas em casa de vegetação. As injúrias causadas por *T. absoluta* foram menores na linhagem UFU MC TOM 1, independente da aplicação de Si no solo, e não houve diferença nas injúrias por este inseto quando comparados os outros genótipos entre si. Porém, as injúrias pelo inseto foram menores nos híbridos LN5X5B1 e LN4X2B1 e em Santa Clara com a adição de Si. A porcentagem de frutos brocados por *N. elegantalis* foi de três a oito vezes menor em UFU MC TOM 1 do que nos outros genótipos avaliados, os quais não diferiram entre si. A adição de Si no solo reduziu os sintomas de injúrias de *N. elegantalis* em todos os genótipos testados. Não houve efeito do Si na porcentagem de frutos viáveis e nem na produção de frutos. A linhagem UFU MC TOM 1 foi mais resistente a *T. absoluta* e *N. elegantalis* e com maior teor de acilaçúcar do que os outros genótipos. Não houve relação entre o acúmulo de Si e a resistência constitutiva às pragas nos genótipos de tomateiro avaliados. A aplicação de Si no solo aumentou o teor de acilaçúcar nas folhas de tomateiro LN4x2B1. Através das análises do metaboloma, foi possível detectar as substâncias riesling acetal, veranisatina C, PI-Cer(t18:0/22:0(2OH)) e triptofano-glutamina-treonina, estes foram mais expressos em UFU MC TOM 1 do que em Santa Clara. Destes metabólitos a veranisatina C apresenta efeito neurotóxico em insetos e mamíferos. A aplicação de Si no solo não afetou a produção do tomateiro, independente do grau de resistência constitutiva às pragas dos genótipos, porém aumentou a resistências a *T. absoluta* nos genótipos suscetíveis e aumentou a resistências a *N. elegantalis* em todos os genótipos, independente do grau de resistência, podendo ser considerada uma ferramenta no manejo integrado de pragas do tomateiro. A veranisatina C tem potencial para explicar a resistência de pragas na linhagem UFU MC TOM 1

Palavras-chave: *Neoleucinodes elegantalis*; *Solanum lycopersicum*; tomateiro anão; *Tuta absoluta*.

ABSTRACT

Costa, Diana Cristina Silva. **Constitutive resistance to insects caused by acylsugars and the effect of silicon on increasing resistance and agronomic performance in tomato.** 2024. 53 p. Thesis (doctorate in agronomy/phytotechnics) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia, Mg.

The tomato (*Solanum lycopersicum*) during its cultivation cycle presents serious phytosanitary problems due to its high susceptibility to pests, which increases the need to understand the defense compounds responsible for insect resistance in this crop. Silicon (Si) can enhance the constitutive defense of plants; however, studies with tomato plants are scarce, especially in genotypes with a high degree of constitutive resistance. Thus, this work aimed to study constitutive resistance to insects, the interaction of Si with constitutive resistance and productivity, and detect secondary defense metabolites in dwarf tomato plants of the UFU MC TOM 1 lineage. The Si content in the leaves and the constitutive resistance of the genotypes were also evaluated. To evaluate constitutive resistance and the relationship between Si and plant resistance, injuries caused to leaves by *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) and to tomato fruits by *Neoleucinodes elegantalis* (Guennée) (Lepidoptera: Crambidae) were assessed. Under field conditions, four genotypes were evaluated: UFU MC TOM 1, Santa Clara (susceptibility pattern) and two hybrids LN4X2B3 and LN5X5B1, resulting from the crossing of normal-sized plants with UFU MC TOM 1 plants. For the detection of defense compounds, the metabolic profile of the UFU MC TOM 1 line was compared to that of a susceptible genotype (cv. Santa clara) through the metabolomic approach in plants produced in a greenhouse. Injuries caused by *T. absoluta* were lower in the UFU MC TOM 1 lineage, regardless of the application of Si to the soil, and there was no difference in injuries caused by this insect when comparing the other genotypes to each other. However, the injuries caused by the insect were lower in the hybrids LN5X5B1 and LN4X2B1 and in Santa Clara with the addition of Si. The percentage of fruits bored by *N. elegantalis* was three to eight times lower in UFU MC TOM 1 than in the other genotypes evaluated, which did not differ from each other, with or without the application of Si. The addition of Si to the soil reduced the symptoms of injuries caused by *N. elegantalis* in all tested genotypes. There was no effect of Si on the percentage of viable fruits or fruit production. The UFU MC TOM 1 lineage was more resistant to *T. absoluta* and *N. elegantalis* and had a higher acylsugar content than the other genotypes. There was no relationship between Si accumulation and constitutive resistance to pests in the tomato genotypes evaluated. The application of Si to the soil increased the acylsugar content in LN4X2B1 tomato leaves. Through metabolome analyses, it was possible to detect the substances riesling acetal, veranisatin C, PI-Cer(t18:0/22:0(2OH)) and tryptophan-glutamine-threonine, these were more expressed in UFU MC TOM 1 than in Santa Clara. Of these metabolites, veranisatin C has a neurotoxic effect on insects and mammals. The application of Si to the soil did not affect tomato production, regardless of the degree of constitutive resistance to pests of the genotypes, but increased resistance to *T. absolute* in susceptible genotypes and increased resistance to *N. elegantalis* in all genotypes, regardless of the degree of resistance, and can be considered a tool in the integrated management of tomato pests. The veranisatin C has the potential to explain the resistance of pests in the UFU MC TOM 1 lineage.

Keywords: Dwarf tomato; *Neoleucinodes elegantalis*; *Solanum lycopersicum*; *Tuta absoluta*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Características do tomateiro e dos genótipos para a resistência às pragas.....	13
3.1.2 Pragas do tomateiro.....	15
3.2 Resistência de plantas a insetos.....	17
3.3 O silício e seu papel no aumento da resistência de plantas a insetos.....	18
3.4 Principais metabolitos secundários de defesa vegetal.....	22
3.4.1 Acilaçúcar e Zingibereno.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 Resistência constitutiva a insetos e efeito do Si no aumento da resistência e na produtividade de tomateiro.....	25
4.2 Teor de acilaçúcar.....	26
4.3. Porcentagem de silício foliar.....	26
4.4 Análise do metaboloma de Santa Clara e linhagem UFU MC TOM 1.....	27
4.5 Análise dos dados	28
5 RESULTADOS.....	29
5.1 Injúrias causados por insetos e produção de frutos.....	29
5.3 Teores de acilaçúcar e de Si foliar.....	32
5.1 Identificação de compostos de defesa por abordagem metabolômica.....	34
6 DISCUSSÃO.....	37
7 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se encontra entre os 10 maiores produtores de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), tendo produzido mais de 4 milhões de toneladas de frutos em 2019 (FAO, 2019). O tomateiro passou ao longo dos anos por inúmeros processos de melhoramento genético, visando aumento de produtividade e qualidade dos frutos, o que resultou em uma base genética estreita (Villande *et al.*, 1998). Esta baixa variabilidade genética contribui para a alta suscetibilidade das cultivares comerciais ao ataque de artrópodes pragas, tornando a busca por resistência na cultura do tomate, de suma importância (Freitas *et al.*, 2000; Baldin *et al.*, 2005; Gonçalves Neto *et al.*, 2010; Maluf *et al.*, 2010; Rosero, 2010; Silva *et al.*, 2013; Bottega, 2013; Maciel *et al.*, 2014, 2017).

O uso de linhagens com características de nanismo apresenta grande perspectiva para o melhoramento do tomateiro, visando diferentes tipos de estresse biótico e qualidade dos frutos, aliado a alta produtividade (Maciel *et al.*, 2015; Finzi *et al.*, 2017, 2019, 2020; Gomes *et al.*, 2021; Cavasin *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022). A linhagem anã de minitomate UFU MC TOM1 apresenta valores de acilaçúcar altos, o que vem sendo associado a sua resistência constitutiva às pragas (Gomes *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022; Oliveira, 2023). Os acilaçúcares estão entre os compostos mais estudados dentre os que conferem resistência ao tomateiro e são classificados como ésteres de glicose e sacarose, pertencentes a um grupo acilas e presente em tricomas glandulares tipo I e tipo IV nas plantas (Fobes *et al.*, 1985; Burke *et al.*, 1987; Glas *et al.*, 2012; Mandal *et al.*, 2019; Stout *et al.*, 2019).

O uso do silício (Si), relacionado ao aumento da resistência das plantas, pode favorecer o controle de pragas (Goussain *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2008; Silva, 2010; Nolla, 2013; Santos *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017; Hall *et al.*, 2019). O tomateiro é uma planta não acumuladora de Si (Myake; Takahashi, 1985; Ma *et al.*, 2001; Lana *et al.*, 2003), que apresenta um baixo teor deste nutriente nos tecidos, mesmo com alta concentração no solo (Myake; Takahashi, 1985; Pereira *et al.*, 2003). Todavia, estudos indicam que mesmo as plantas não acumuladoras conseguem se beneficiar dos efeitos do Si (Ferreira *et al.*, 2011; Callis-Duehl *et al.*, 2017; Peixoto *et al.*, 2017; Johnson *et al.*, 2020). No caso do tomateiro, a aplicação de Si pode promover o aumento do rendimento de frutos, a redução na proporção de frutos rachados/danificados (Marodin

et al., 2014) e o aumento da resistência a insetos (Santos et al., 2012; Alyousuf et al., 2021).

Existem algumas evidências de que o aumento da resistência por Si não ocorre em plantas que já apresentam altos níveis de resistência constitutiva (cooke; Leishman, 2011; Schaller et al., 2012; Frew et al., 2016.) e que a defesa induzida pelo Si é inversamente proporcional ao teor de substâncias de defesa presente nas plantas (Frew et al., 2016). O aumento da resistência pelo uso do Si em plantas de tomateiro foi observado somente em plantas suscetíveis (Santos et al., 2012; Alyousuf et al., 2021), porém, não se sabe se plantas com maior grau de resistência constitutiva terão sua resistência aumentada pela adubação silicatada.

Em função do exposto, este trabalho visou avaliar a resistência constitutiva a insetos, a interação do Si com a resistência constitutiva e com a produtividade e detectar metabólitos secundários de defesa em tomateiro anão da linhagem UFU MC TOM1. Para avaliar a resistência constitutiva e a relação do Si com a resistência das plantas, foram avaliadas as injúrias provocadas nas folhas por *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) e nos frutos do tomateiro por *Neoleucinodes elegantalis* (Guennée) (Lepidoptera: Crambidae), em quatro genótipos: UFU MC TOM1, o padrão de suscetibilidade (Santa Clara) e dois híbridos, provenientes do cruzamento de plantas com porte normal versus plantas de UFU MC TOM1. Para a detecção de compostos de defesa, o perfil metabólico da linhagem UFU MC TOM1 foi comparado ao de um genótipo suscetível (cv. Santa Clara) por meio da abordagem metabolômica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi verificar a interação do Si com a resistência constitutiva, a produtividade e a incidência das pragas e detectar metabólitos secundários de defesa do tomateiro anão UFU MC TOM1.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Verificar o grau de resistência constitutiva a insetos na linhagem anã UFU MC TOM1 e nos híbridos de plantas com porte normal x UFU MC TOM1, e sua relação com seus teores de acilaçúcar, quando comparados com genótipo padrão de suscetibilidade.
- ✓ Verificar a relação do acúmulo de Si com a resistência constitutiva às pragas e o teor de acilaçúcar em diferentes genótipos de tomateiro.
- ✓ Verificar a relação do aumento da resistência proporcionado pelo Si com a resistência constitutiva às pragas em diferentes genótipos de tomateiro.
- ✓ 2.2.5 Verificar a relação do aumento da produtividade proporcionado pelo Si com a resistência constitutiva às pragas em diferentes genótipos de tomateiro.
- ✓ Verificar os tipos e quantidades de substâncias de defesa na linhagem UFU MC TOM1, quando comparado a um genótipo padrão de suscetibilidade, por abordagem metabolômica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Características do tomateiro e dos genótipos para a resistência às pragas

O gênero *Solanum* é um dos maiores gêneros entre as angiospermas e contém aproximadamente 1.500 espécies (Bauchet; Causse, 2012). A sua origem ocorreu na região ocidental das Américas Central e do Sul, envolvendo as regiões andinas do Equador, Bolívia, Peru, Colômbia e Chile (Bauchet; Causse, 2012; Carvalho, 2014).

O tomate cultivado (*Solanum lycopersicum*) tem maior destaque por produzir um dos frutos mais consumidos e estudados (Baichoo; Jaufeerally-Fakim, 2016; Karkute et al., 2018; Kim et al., 2011; Perez-Fons et al., 2014). Além de ser um alimento nutritivo, possui muitas características interessantes como fruto carnudo com folhas compostas, tricomas multicelulares e glandulares (Bedinger et al., 2011; Campos et al., 2010; Gapper; Mcquinn; Giovannoni, 2013; Giovannoni, 2004; Kobayashi et al., 2014).

A principal forma de consumo do fruto é in natura, caracterizando o tomate de mesa, o qual se destaca pelo seu alto valor nutritivo, apresentando 93% a 95% de água, baixo valor calórico, além de conter proteínas, carboidratos, cálcio, magnésio, ferro, zinco, fibras, vitamina C, potássio, licopeno e outros compostos essenciais na alimentação (Kim et al., 2011; Taco, 2011; Bauchet; Causse, 2012). O tomate possui também um grande mercado para o consumo do fruto processado de forma industrial, sobretudo na produção de molhos, extratos e sucos (Monteiro et al., 2008).

Devido às características específicas e um padrão de frutos necessários para atender as demandas de mercado, as variedades de tomate são constantemente melhoradas conforme a região, a forma de cultivo e a finalidade do fruto após a colheita (Carvalho, 2014). Estes fatores são essenciais para que pesquisadores e produtores possam melhorar a qualidade e produtividade de cultivares de tomateiro (Gerszberg; Hnatuszko-Konka, 2015). Embora o tomateiro tenha se adaptado a diferentes ambientes, grande parte das variedades necessitam de condições climáticas adequadas para o bom desenvolvimento da cultura (Camargo, 2006; Naika et al., 2006; Carvalho, 2014).

Em geral, as plantas comerciais de tomate *S. lycopersicum* são suscetíveis ao ataque de pragas e mais de 200 doenças causadas por diferentes tipos de patógenos, incluindo vírus, bactérias, fungos e nematoides (Lukyanenko, 1991; Bai; Lindhout, 2007; Nowicki et al., 2012; Haapalainen, 2014; Mcgovern, 2015). Seu controle é feito principalmente pelo uso de produtos químicos como: inseticidas, fungicidas e acaricidas

que, além de altos custos, envolvem aplicação intensiva, o que impacta negativamente no meio ambiente pela poluição ambiental e desequilíbrio ecológico causados (eliminação de inimigos naturais), sendo prejudiciais à saúde humana (Ercolano et al., 2012).

A obtenção de variedades de tomateiro resistentes a fatores bióticos, por meio da resistência genética as pragas, é uma alternativa viável para reduzir os impactos do uso de produtos químicos, podendo ocorrer através do cruzamento do tomate cultivado com espécies selvagens (Stevens; Rick, 1986; Kimura; Sinha, 2008; Kamenetzky et al., 2010; Alseekh et al., 2013; Bolger et al., 2014), ou através da indução da resistência.

Existem várias espécies conhecidas de tomate selvagem, consistindo em recursos genéticos subexplorados e de grande importância para o melhoramento, pesquisa e desenvolvimento da cultura (Peralta; Knapp; Spooner, 2005; Spooner; Peralta; Knapp, 2005; Kimura; Sinha, 2008; Kamenetzky et al., 2010; Aflitos et al., 2014; Bolger et al., 2014; Mittova; Volokita; Guy, 2015; Nosenko et al., 2016^a; Mcdaniel et al., 2016). Essas espécies possuem outras diferenças fenotípicas do tomate cultivado, incluindo cheiro, resposta a patógenos e a pragas, tipos de tricomas e morfologia foliar (Darwin, 2009).

Por apresentarem elevada resistência as pragas e doenças, essas espécies selvagens de tomateiro apresentam potencial para utilização em programas de melhoramento genético que visam a obtenção de cultivares comerciais resistentes. A resistência genética dessas plantas ocorre, principalmente, em razão da presença de substâncias químicas que estão presentes nas folhas ou, mais especificamente, nos tricomas glandulares, como os acilaçúcares (Barona et al., 1989; Eigenbrode & Trumble, 1993; Lourenção & Nagai, 1994; Leite et al., 1999; Maluf et al., 2001; Freitas et al., 2002; Resende et al., 2002B; Gonçalves et al., 2006).

Os acilaçúcares são aleloquímicos formados por 2,3,4-tri-O-éster de glicose, que possuem ácidos graxos com 4 a 12 átomos de carbono (Burke et al., 1987). A espécie selvagem do tomateiro *Lycopersicon pennellii* 'LA-716' apresenta altos teores desse composto e apresenta resistência a inúmeras pragas, inclusive àquelas consideradas pragas-chave na cultura do tomateiro. A presença dessa substância já foi identificada e relacionada a resistência em outras espécies do gênero *Lycopersicon*, bem como em outros gêneros da família *Solanaceae*, inclusive *Nicotiana*, *Datura* e *Solanum* (Severson et al., 1985; King et al., 1990; Shinozaki et al., 1991).

O nanismo de plantas tem sido estudado como um dos caminhos para o aumento de produtividade, por permitir a possibilidade de plantio adensado em uma mesma área (Hedden, 2003; Maciel et al., 2015). Para a obtenção de plantas anãs, um dos primeiros genes descritos foi o gene *d* (Bishop; Harrison; Jones, 1996), em que plantas com o alelo *d* apresentavam o fenótipo anão, em consequência da alteração do citocromo P450, ligado a rota de giberelina das plantas. O tomate cv. Micro Tom e linhagem de minitomate UFU MC TOM 1, *S. lycopersicum*, possuem esse mesmo gene, que condiciona a expressão do fenótipo anão, estando relacionado a produção de brassinoesteroides (Martí et al., 2006). De forma geral, as plantas de tomateiro que possuem este gene apresentam alteração da arquitetura, por meio da redução de suas partes, encurtamento dos entrenós e modificação da morfologia das folhas, as quais ficam com coloração verde mais escura e com aumento da sua espessura e rugosidade, além de alterar o tamanho dos frutos (Rick, 1952; Tgrc, 2020; Marim, 2011). Dessa forma, a utilização de genes que condicionam plantas ao crescimento do tipo anão confere características como menor suscetibilidade ao acamamento e menor contato dos frutos com o chão, garantindo alta produtividade, mesmo que a produção por planta desse porte seja reduzida (Finzi et al., 2017; Sun et al., 2019).

Além dos fatores favoráveis à produtividade, as plantas anãs também apresentam potencial para a utilização no melhoramento visando resistência às pragas. A linhagem de minitomate UFU MC TOM 1, planta anã da espécie *S. lycopersicum*, apresenta teores intermediários a altos de acilaçúcar, variando de 22,43 a 30,02 nmol por cm² de área foliar, e de zingiberenos, o que conferiu resistência à pragas e doenças ao UFU MC TOM 1 e a alguns de seus descendentes do cruzamento de plantas com porte normal (Finzi et al., 2017; Gomes et al., 2021; Jesus et al., 2023; Oliveira et al., 2022; Oliveira, 2023).

3.1.2 Pragas do tomateiro

Existem cerca de um milhão de espécies de insetos descritas no planeta, porém somente cerca de 10% são consideradas pragas (Papini et al., 2014). No contexto agrícola, um inseto será classificado como praga se o dano que causa às culturas ou às criações for suficiente para diminuir o rendimento ou a qualidade do produto final a um valor que cause danos econômicos ao agricultor (Dent, 2000). Na cultura do tomateiro uma das grandes dificuldades do cultivo está relacionado com o grande número de

insetos pragas que utilizam essa planta como fonte de alimento, abrigo e micro-habitat para a reprodução. Diversas espécies são encontradas desde a fase de mudas até a época da colheita (Moura et al., 2014).

As principais pragas do tomateiro podem ser divididas em três categorias: insetos vetores de viroses, as minadoras das folhas e as broqueadoras de frutos (Santos et al., 2016). Dentre os principais vetores de viroses podemos destacar o tripses, *Frankliniella schultzei* (Trybom) (Thysanoptera: Thripidae); a mosca-branca, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae); e os pulgões, *Myzus persicae* (Sulzer) e *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae). Já a traça-do-tomateiro (*T. absoluta*) é a principal espécie minadora de folha, e entre as broqueadoras de frutos se destacam a broca-grande-do-fruto, *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) e a broca-pequena-do-fruto, *N. elegantalis* (Gallo et al., 2002; Guedes; Picanço, 2012; Moura et al., 2014; Walgenbach, 2017).

A traça-do-tomateiro *T. absoluta* é considerada, por alguns autores, como a principal praga que acomete a cultura do tomate, ela possui ampla ocorrência e adaptação às condições climáticas (Santana et al., 2018). Quando o controle dessa praga não ocorre de modo eficaz, os prejuízos causados pelas injúrias podem acarretar perda de produtividade de até 100% (Biondi et al., 2018). O primeiro relato que se tem notícias desse inseto aconteceu na América do Sul e, atualmente, há ocorrência dessa praga em várias regiões como Europa, África, Ásia e América (Campos et al., 2020). O adulto da traça-do-tomateiro é um microlepidóptero, medindo cerca de 5 mm de comprimento e 9 mm de envergadura com coloração acinzentada e abdômen marrom (Hogea, 2020). Os ovos de *T. absoluta* podem ser encontrados em diferentes partes da planta e de forma predominante na parte inferior das folhas, o que confere proteção tanto do ambiente quanto aos inseticidas (Hogea, 2020). Após a emergência, as lagartas penetram nos tecidos e alimentam-se do mesófilo foliar, ocasionando a formação de galerias (minas) nas folhas, causando a principal injúria observada, podendo danificar outros órgãos da planta como o caule, brotações e frutos (Desneux et al., 2010). As larvas de *T. absoluta* são capazes de causar injúrias durante todo o ciclo do tomateiro, em praticamente todas as fases fenológicas da planta, podendo ser observadas desde a fase de mudas até a fase final, além de sobreviver em restos de cultura (Huat et al., 2013).

A broca-pequena-do-fruto *N. elegantalis* é uma mariposa de cor branca com cerca de 25mm de envergadura, possui asas transparentes com pequenas manchas marrons na parte posterior, além de uma mancha na parte anterior. As fêmeas desse

inseto chegam a ovopositar até 3 ovos por fruto, flores, sobre as sépalas ou rentes ao cálice. As lagartas recém-eclodidas se deslocam até o fruto e penetram na polpa (Muñoz et al., 1991). Esse inseto apresenta preferência pela parte inferior dos frutos, aonde realizam a perfuração (Blackmer; Eiras; Souza, 2001). A broca-pequena-do-fruto causa danos direto e indiretos, visto que se alimenta da polpa dos frutos, e em decorrência dos orifícios que provocam favorecem a contaminação por patógenos. Os frutos atacados apresentam a polpa destruída, tornando-se inviáveis tanto para o comércio como para a indústria. A adoção de medidas de controle são fundamentais para diminuir a população do inseto e evitar um alto comprometimento da produção total das plantas (Gallo et al., 2002; Gravena; Benvenga, 2003; Picanço et al., 2007).

3.2 Resistência de plantas a insetos

A classe dos insetos, com mais de um milhão de espécies descritas, é a mais diversa do grupo de animais na terra. Quase metade de todas as espécies de insetos existentes são fitófagos, ou seja, se alimentam de plantas vivas. A capacidade de existir em um ambiente tão hostil só é possível para as plantas devido aos diversos mecanismos de resistência que lhes permitem suportar os ataques dos insetos fitófagos (Schaller, 2008).

Os mecanismos de defesa que as plantas apresentam contra a herbivoria podem ser classificados em constitutivos ou induzidos. Os componentes da defesa constitutiva são substâncias químicas e/ou estruturas morfológicas pré-existentes nas plantas e que afetam o comportamento dos insetos ou influenciam na sua biologia. Esses componentes podem ser encontrados em diferentes partes e estruturas da planta e, normalmente, as concentrações podem variar em função do estágio fenológico das plantas (Coley; Barone, 1996). Tanto os estresses causados por alterações climáticas ou por ataques de patógenos ou insetos, estimulam os fluxos de carbono da via metabólica primária para a secundária, resultando em uma mudança dos recursos disponíveis em favor da síntese de produtos secundários voltados para a defesa das plantas (Lattanzio, 2013). De acordo com Mahmoud (2013) e Paudel et al. (2014), a resistência, quando induzida, ocorre causando a reorientação da expressão gênica das atividades de manutenção celular para as defesas da planta. Essa reorientação ocorre por meio de elicitores que ativam os genes de defesa e são produzidos em resposta a estímulos externos como a alimentação ou oviposição de herbívoros. Esses elicitores também podem ser aplicados de forma

artificial, induzindo as mesmas respostas de defesa, como se a planta estivesse sob ataque.

Uma planta pode ser considerada resistente a insetos quando apresenta atributos geneticamente herdáveis, que permitem que um genótipo seja menos prejudicado que outra planta não possuidora de tais atributos, em igualdade de condições. Desta forma, conclui-se que a resistência é relativa, e o grau apresentado baseia-se na comparação com outras plantas que podem ser resistentes, modernamente resistentes ou susceptíveis sob condições similares (Smith, 2005). De acordo com o mesmo autor, três tipos de categorias de resistência de plantas a insetos são mencionados na literatura: antibiose, antixenose e tolerância. Os fatores que condicionam os tipos de resistência incluem características que, isoladamente ou em conjunto, alteram a preferência dos herbívoros durante a seleção do hospedeiro para abrigo, alimentação ou ovoposição, ou seja, a resistência por antixenose (ou não-preferência); ou afetando negativamente o desempenho ou biologia do inseto, causando alterações em seu ciclo de vida, a resistência por antibiose. Por fim, algumas plantas podem mostrar certa tolerância a herbivoria o que permite resistir ao ataque do inseto sem apresentar maiores danos e redução na produtividade.

As defesas morfológicas incluem espinhos, tricomas, cutículas espessas, ceras ou lignificação de parede celular, que formam barreiras físicas para influenciar o comportamento e alimentação de insetos pragas (Reynolds et al., 2009). As defesas bioquímicas e moleculares incluem a regulação positiva de genes e proteínas defensivas, além da produção de compostos secundários tóxicos para as pragas (Zhang et al., 2019).

3.3. O silício e seu papel no aumento da resistência de plantas a insetos

O silício (Si) é encontrado de forma abundante na crosta terrestre e, apesar de não se enquadrar como nutriente essencial, uma vez que não é necessário para que a planta complete seu ciclo de vida, é considerado um elemento mineral benéfico às plantas, sendo observado respostas positivas em diversos aspectos quanto à morfologia, sanidade e estruturação da planta quando utilizado (Pozza; Pozza; Botelho, 2015). Segundo Bhatt e Sharma (2018), o Si tem sido associado a vários efeitos diretos e indiretos nas plantas, desde alterações na fisiologia vegetal até o fortalecimento da

parede celular, aumentando sua resistência, além de relatos de tolerância à salinidade, à seca e melhorias na atividade fotossintética.

O Si está presente na solução do solo na forma de monoméricos ou ácido monossilícico (H_4SiO_4) e é facilmente absorvido pelo sistema radicular (Pozza; Pozza; Botelho, 2015), sendo transportado pelo xilema e depositado nos tecidos vegetais na forma de dupla camada de sílica e cutícula na epiderme das folhas e colmos, tornando-se imóvel, não sendo possível sua redistribuição para outros órgãos da planta (Ma; Yamaji, 2006). Entretanto, os teores solúveis e disponíveis às plantas podem ser baixos em alguns solos devido, principalmente, a sua mineralogia, textura e teor de argila. Assim, solos com maior teor de óxidos de ferro e alumínio e solos arenosos e de textura média apresentam menor teor de Si solúvel (Camargo, 2016).

Toda espécie vegetal tem capacidade de absorver Si, os teores de sílico acumulado em forma de massa seca nas plantas podem variar de 0,1 a 10%. Esse nutriente, após ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado através do xilema e se polimeriza, associando-se a compostos orgânicos como proteínas, polissacarídeos e lignina (Epstein, 1994, 2009). As diferentes espécies vegetais variam em sua capacidade de absorver e acumular Si nos tecidos, podendo, em função dos percentuais de SiO_2 na matéria seca da parte aérea, serem classificadas em três grupos: a) acumuladoras, com teor elevado de Si, como as gramíneas; b) não acumuladoras, com baixo teor de Si, mesmo com altos níveis no meio, como a maioria das dicotiledôneas; c) intermediárias, com quantidade considerável de Si, quando a concentração no meio é alta, como na soja (Marschner, 1995). As cucurbitáceas e a soja enquadram-se como espécies intermediárias, pois conseguem translocar o Si livremente das raízes para a parte aérea se beneficiando da absorção desse elemento (Hattori et al., 2005; Gunes et al., 2008; Crusciol et al., 2009).

O descobrimento de genes específicos que envolvem o transporte de Si e o seu acúmulo nas plantas favoreceram muito o entendimento sobre o processo de absorção e transporte. Os mesmos são responsáveis pelo transporte do silício através do xilema e estão presentes principalmente nas pontas das raízes, na bainha e na lâmina das folhas. O gene *LSi1* é um transportador responsável por influir o Si a partir da solução do solo até as células das raízes, já o *LSi2* é um transportador responsável por mediar o efluxo de Si, ou seja, o seu transporte das células das raízes ao apoplasto (Ma et al., 2006, 2007; Yamaji et al., 2008). Tais genes que atuam na absorção do Si foram descritos pela primeira vez em arroz, porém genes semelhantes foram relatados em cevada (*Hordeum*

vulgare L.), milho e trigo (Chiba et al., 2009; Mitani et al., 2009; Montpetit et al., 2012). Genes que codificam transportadores de Si foram verificados em várias espécies de plantas, inclusive algumas dicotiledôneas. Plantas de abóbora (*Cucurbita moschata* Poir) foram as primeiras dicotiledôneas a registrarem um gene que codifica um transportador que influxa (LSi1) (Mitani et al., 2011) e dois transportadores que efluxam Si (CmLSi2-1 e CmLSi2-2) (Mitani-Ueno et al., 2011). Posteriormente, dois genes transportadores que influxam Si (GmNIP2-1 e GmNIP2-2) em soja (Deshmukh et al., 2013) e pepino (CSiT-1, CSiT-2) (Wang et al., 2015) também foram registrados.

A distribuição de Si na planta está relacionada com a transpiração e varia de espécie para espécie, mostrando-se uniforme nas plantas que acumulam pouco Si, já nas espécies acumuladoras, 90% do elemento concentra-se na parte aérea (Korndörfer et al., 1999). O acúmulo de Si nos tecidos é influenciado por vários fatores, dentre eles, a idade da planta, o tipo e a localização dos tecidos envolvidos, a absorção através das raízes e a transpiração (Korndörfer, 2014).

Segundo Balasta et al. (1989), uma vez absorvido e transportado via xilema para outras partes da planta, o Si é depositado na forma polimerizada na epiderme foliar junto às células-guarda dos estômatos e outras células da epiderme. Os depósitos de sílica nos tecidos das folhas, principalmente na parede celular, aumentam a rigidez das células, promovendo a redução na taxa de transpiração, o acúmulo da sílica nas paredes celulares favorecem a resistência das plantas contra o ataque de fungos e de insetos (Barbosa Filho et al., 2000; Korndörfer, 2015).

Vários estudos demonstram que os padrões de deposição de Si nos tecidos vegetais levaram à hipótese da formação de barreiras mecânicas ou físicas à alimentação dos insetos, uma vez que a sílica torna os tecidos vegetais difíceis de serem mastigados e digeridos de forma eficiente pelos insetos. Além disso, os papéis benéficos da sílica na fisiologia vegetal, na regulação de enzimas relacionadas à defesa, sinalização de hormônios vegetais e alteração de misturas voláteis de plantas elucidam a associação do Si com mecanismos de defesa bioquímicos/moleculares (Fauteux et al., 2005; Ye et al., 2013; Nazaralian et al., 2017). Alguns mecanismos relacionados à defesa química de plantas podem ser mediados por silício, como as polifenol oxidase, fenilalanina amônia liase, voláteis vegetais induzidos por herbívoros e o fitohormônio jasmonato (Gregor, 2018). Assim, outra característica importante do Si é que este elemento tem desempenhado o papel de elicitor no processo da resistência induzida, atuando no aumento de enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina (Gomes et al., 2005).

Dessa forma, os benefícios proporcionados pela adubação com silício podem resultar na redução do ataque de insetos (Villegas et al., 2017).

O Si pode conferir resistência às plantas aumentando a resistência constitutiva por meio de barreiras físicas ou químicas (Gomes et al., 2008, 2009; Ferrari Neto, 2016). A silicificação do tecido vegetal dificulta a penetração de estiletes e a mastigação pelos insetos, devido ao fortalecimento da parede das células vegetais (Datnoff et al., 1991). Godoy (2017), ao avaliar aplicação foliar de silício em genótipos de soja infestado com *Bemisia. tabaci*, verificou que, após a aplicação, houve aumento do tempo até a primeira picada de prova e redução do tempo de alimentação no floema.

O Si disponível no solo e absorvido pelas plantas pode ser acumulado na forma de fitólitos, principalmente nas células epidérmicas de folhas, caules e raízes (Liang et al., 2015). Em arroz, após a deposição é formado uma camada de Si de 2,5 μm de espessura logo abaixo da camada da cutícula (0,1 μm de espessura) da planta, formando uma dupla camada de silício-cutícula nas folhas (Yoshida et al., 1965). Com o fortalecimento da parede celular, pode ser causado desgaste irreversível do aparelho bucal, dificultando a alimentação (Gregor, 2018) e danos no intestino médio dos insetos mastigadores (Santos et al, 2015). O epitélio do intestino médio do inseto desempenha um papel importante na digestão dos alimentos e na conversão em nutrientes pelas enzimas digestivas; além disso, é um local para desintoxicação de inseticidas (Smagghé e Tirry, 2001). O Si pode danificar a ultraestrutura do epitélio do intestino médio, principalmente através do desprendimento de células epiteliais da membrana basal, como observado em larvas da traça-do-tomateiro *T. absoluta*, alimentadas com folhas de tomate tratadas com Si, afetando de forma negativa a sua absorção de nutrientes e a taxa de crescimento, também podendo aumentar a eficácia dos controles químicos combinados com o Si (Santos et al., 2015).

3.4 Principais metabolitos secundários de defesa vegetal

As plantas possuem vias de defesa ditas como diretas ou indiretas. As defesas diretas estão associadas a características morfológicas da planta, como tricomas, ceras, entre outras. Essas estruturas contidas nas plantas constituem as defesas físicas e mecânicas e são tidas como a primeira linha de defesa contra a herbivoria. Já a ação dos metabolitos secundários, que compreendem substâncias como os fenóis e as ligninas

que afetam o desenvolvimento e crescimentos dos insetos via várias enzimas, constituem a segunda linha de defesa. Dessa forma, percebemos que os ataques dos insetos as plantas são neutralizadas de forma direta e indireta, pelas defesas físicas e químicas das plantas (GregoR, 2018).

Embora o metabolismo secundário nem sempre seja vital para a sobrevivência das plantas, ele possui um papel importante na interação das plantas com o meio ambiente, sendo que a influência dos fatores biótico e abióticos, que são componentes do meio externo, têm sua interação mediada pelos compostos do metabolismo secundário. Assim, verificamos que os produtos secundários possuem um papel importante contra a herbívora, ataque de patógenos, competição entre plantas e atração de organismos benéficos como polinizadores, dispersores de semente e microrganismos simbiotes (Taiz; Geizer, 2009).

Segundo War et al. (2011), os produtos químicos de defesa vegetal consistem em metabólitos secundários, cujas estruturas centrais são predominantemente terpenos, benzenoides, fenilpropanoides, flavonoides ou compostos contendo nitrogênio. Segundo Pacheco (2020), os principais compostos mediadores de defesa vegetal podem ser divididos em 3 grupos: os terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados. Segundo este autor, pesquisas ainda são necessárias para entender e descobrir as várias vias de sinalização que permitem a expressão das defesas das plantas contra estresses do meio externo. Além dos compostos supracitados, os acilaçúcares (Gonçalves et al., 2006; Lucini et al., 2016; Dias et al., 2016) e o zingibereno (Gianfagna et al., 1992; Maluf et al., 2001; Freitas et al., 2002; Donizete et al., 2006) são importantes na defesa das plantas do tomateiro contra o ataque de insetos.

3.4.1 Acilaçúcar e Zingibereno

O acilçúcar é considerado uma das principais substâncias de defesa produzido pelas espécies silvestres *Solanum pennellii* e *Solanum galapagense* (dias et al., 2016), enquanto a espécie *Solanum habrochaites* produz dois aleloquímicos, 2-tridecanona e zingibereno (Baldin et al., 2005; Oliveira et al., 2005; Oliveira et al., 2012; Lima et al., 2016). Dessa forma, é comum que essas espécies sejam amplamente utilizadas e estudadas como fonte de resistência, por apresentarem em sua constituição substâncias associadas à resistência a pragas, como metil-cetonas, sesquiterpenos e acilaçúcares, e

por apresentarem tolerância ao estresse ambiental. Segundo Gil (2015), resistência a artrópodes está frequentemente associada a altas densidades de tricomas glandulares dos tipos IV e VI e aleloquímicos contendo, principalmente, tridecananos (metilcetonas), sesquiterpenos (terpenóides) e acilaçúcares.

Os acilaçúcares e outras substâncias de defesa e metabólitos são produzidos pelos tricomas glandulares (Wagner et al., 2004). Esses compostos atuam impedindo a ovoposição, a alimentação, além de exercer efeito deletério no desenvolvimento de determinadas fases dos artrópodes-praga (Baldin et al., 2005; Silva et al., 2016).

Segundo Gaparine et al. (2023), são conhecidos 8 tipos diferentes de tricomas no tomateiro e seus parentes silvestres, dentre estes, quatro são conhecidos como glandulares (tipos I, IV, VI e VII) por possuírem glândulas secretoras, e quatro como não glandulares (tipos II, III, V e VIII). Os tricomas do tipo IV e, em menor quantidade, os do tipo I, são fontes de acilaçúcares. Essa substância tem a capacidade de imobilizar ou marcar os insetos para serem detectados por seus predadores (Weinhold E Baldwin, 2011). Segundo Vendemiatti et al. (2017), os tricomas do tipo IV são encontrados apenas na fase juvenil de desenvolvimento da maior parte dos genótipos cultivados de tomateiro.

Além do acilaçúcar, outras substâncias também presentes em tricomas glandulares podem conferir resistência às pragas, como o zingibereno, um sesquiterpeno encontrado na espécie selvagem de tomate *Lycopersicon hirsutum* var. *hirsutum*. (Donizete et al., 2006). O zingibereno ocorre exclusivamente nos tricomas glandulares do tipo VI, o que foi confirmado por Gianfagna et al. (1992); no entanto, Maluf et al. (2001) e Freitas et al. (2002) verificaram a presença desse aleloquímico também associada ao tricoma glandular do tipo IV.

Estudos realizados com zingibereno demonstram que este aleloquímico é capaz de proporcionar níveis satisfatórios de resistência a traça-do-tomateiro *T. absoluta* (Lima et al., 2015), mosca-branca, *Bemisia tabaci* (Baldin et al., 2005) e ácaro vermelho *Tetranychus evansi* (Silva et al., 2009). Já Silva et al. (2017) verificaram que linhagens de tomate com altas concentrações de zingibereno foram ineficazes em demonstrar não-preferência (antixenose) para alimentação e/ou ovoposição de adultos de *Liromisia trifolii*, ao contrário dos genótipos com alto teor de acilaçúcar, porém, obteve respostas contra outros artrópodes pragas, como a *T. absoluta*, *Bemisia* spp. e ácaros do gênero *Tetranychus*.

Dessa forma, verifica-se que uma alternativa mais eficaz para o controle das diversas pragas no tomateiro é a introdução de resistência genética nas plantas por meio de cruzamentos com genótipos ricos em compostos secundários de defesa vegetal (Maluf et al., 2001; Silva et al., 2009; Neiva et al., 2013; Lima et al., 2013).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Resistência constitutiva a insetos e efeito do Si no aumento da resistência e na produtividade de tomateiro

A fim de verificar a resistência constitutiva e a influência do Si no aumento da resistência e na produtividade de genótipos de tomate, o experimento foi conduzido em campo, na Universidade Federal de Uberlândia, campus de Monte Carmelo/MG, sendo as avaliações realizadas com base na infestação natural de insetos-praga.

O experimento foi instalado na estação Experimental de Hortaliças (18° 42' 43,19" S e 47° 29' 55,8" O, a 873 m de altitude) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Monte Carmelo, com início no mês de agosto de 2022 e avaliado até fevereiro de 2023. Foi realizada análise para determinação do silício disponível no solo utilizado, cujo resultado foi de 6,5mg de Si por quilo de solo, considerado baixo o suficiente para haver resposta da aplicação de silicato (KORNDÖRFER et al., 1999; REIS, 2021).

Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados, com 4 blocos e 8 tratamentos provenientes de um fatorial 4 x 2 (4 genótipos x aplicação ou não de 900 kg/ha⁻¹ de Si solúvel). Cada parcela foi composta por sete plantas de tomateiro. Os tratamentos constituíram-se de quatro genótipos de tomateiro: a cultivar Santa Clara (padrão de suscetibilidade), a linhagem de minitomate UFU MC TOM 1, e dois híbridos de plantas com porte normal (LN) versus plantas de UFU MC TOM1 (B), os quais apresentaram alto potencial produtivo em estudos prévios, LN4x2B3 e LN5x5B1.

No processo de preparação do solo foi colocado Agrossilício® Agroneli (25% de cálcio, 6% de magnésio e 10,5% de silício total) na dose de 900 kg de Si ha⁻¹ em metade das parcelas. Na outra metade das parcelas foi adicionado calcário dolomítico de forma a equilibrar os teores de cálcio e magnésio. Após a adição de calcário e Agrossilício® nos canteiros previamente preparados, foi feita incorporação no solo, e deixados para incubar por um período de 45 dias, sendo o plantio das mudas feito após esse período.

As sementes dos tomates foram adquiridas do Banco de Germoplasma de Melhoramento de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo. A semeadura dos genótipos foi realizada em bandeja de isopor com 128 células preenchidas com substrato Carolina Padrão®. Aos 40 dias após semeadura, as plântulas foram retiradas da bandeja de isopor e transplantadas para os canteiros,

utilizando-se o espaçamento de um metro entre canteiros e 0,45m entre plantas. Foram colocadas sete plantas por parcelas, totalizando 32 parcelas e 224 plantas.

O plantio das mudas foi realizado no dia 01 de novembro, após finalizado o período de incubação do silício no solo. As práticas de manejo da cultura foram realizadas de acordo as recomendações para a cultura do tomate (Alvarenga, 2013). Tratos culturais como capina para controle de plantas invasoras e irrigação foram realizadas de acordo com a demanda das plantas, assim como aplicação de produtos químicos para o controle de doenças bacterianas e fúngicas.

As injúrias pela traça-do-tomateiro *T. absoluta* foram avaliadas a partir de 36 dias após o transplântio e a cada 2 dias, observado o terço médio de todas as plantas de cada parcela, totalizando 10 avaliações. Foi utilizada a escala de notas de injúrias de 0 a 5, sendo 0 para plantas saudáveis sem danos e 5 para plantas muito danificadas pelo inseto (Maluf, 1997). Foi calculada a nota média das 10 avaliações para os sintomas de *T. absoluta* por parcela. Os frutos produzidos foram colhidos de uma única vez no dia 26 de janeiro de 2022, beneficiados, contabilizados de acordo com suas classificações e em seguida separados em três grupos: frutos viáveis (considerados aptos para o mercado), frutos pequenos (ainda em desenvolvimento) e frutos inviáveis (frutos que apresentavam alguma má formação), e pesados em balança comercial. Foi avaliada a porcentagem de frutos viáveis e o peso total de frutos. Foi feita avaliação de danos causados pela broca-pequena-do-fruto *N. absoluta* nos frutos durante o processo de beneficiamento deles, para a avaliação da porcentagem de frutos brocados.

4.2 Teor de acilaçúcar

Após 45 dias do transplântio, realizou-se a coleta das folhas no período da manhã, em seguida foram identificadas e levadas para o laboratório para que fosse realizada a quantificação dos teores de acilaçúcares. Para a extração do aleloquímico, coletou-se uma amostra composta por seis discos foliares (equivalente à 4,2 cm²), no terço superior de cada planta. As amostras foram acondicionadas em tubos de ensaio e encaminhadas ao laboratório, onde foram realizadas as análises químicas conforme metodologia proposta por Resende et al. (2002) e adaptada por Maciel e Silva (2014).

4.3 Porcentagem de silício foliar

Para a análise foliar de silício, foi realizada a coleta das folhas de tomate no estágio vegetativo 45 dias após o transplântio, as mesmas foram acondicionadas em

sacos de papel, identificadas e colocadas para secar em estufa com circulação e renovação forçada de ar, a 65° C, por 48 horas até atingir peso constante. Após este período, as folhas foram pesadas para determinação da biomassa seca. Em seguida, as amostras foram moídas e enviadas ao Laboratório de Análise de Fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia, onde foi feita a análise para quantificar o teor de silício nas plantas, utilizando a técnica de Korndörfer et al. (2004).

4.4 Análise do metaboloma de Santa Clara e linhagem UFU MC TOM 1

Para a análise metabolômica, 10 plantas da cultivar Santa Clara e nove da linhagem UFU MC TOM 1 foram cultivadas em canteiros, dentro da casa de vegetação tipo arco (7 × 21 m) com pé-direito de 4 m, coberto com tela transparente de filme de polietileno (150 microns), na estação Experimental de Hortaliças (18° 42' 43,19" S e 47° 29' 55,8" O, a 873 m de altitude) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Monte Carmelo. As práticas de manejo da cultura foram realizadas de acordo as recomendações para a cultura do tomate (Alvarenga, 2013). Quando as plantas estavam com 45 dias, foram retiradas 4 folhas de cada indivíduo, as quais foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas em seguida para o Laboratório de Nanobiotecnologia, do Instituto de Biotecnologia, da Universidade Federal de Uberlândia (IBTEC-UFU), onde foram preparadas para análise da quantificação do teor de metabólitos secundários.

Para a extração dos metabolitos, uma amostra de 130 g do material vegetal de cada planta foi triturada e adicionada em béquer com etanol 95% e colocado em ultrassom por 30 minutos, em seguida foi filtrada e o extrativo concentrado em evaporador rotativo e liofilizador, sendo a análise dos metabolitos realizada com cerca de 1 miligrama do extrativo seco, que foi ressuspenso em 1 mL de metanol espectroscópico, subsequentemente filtrado em filtro de ponta de seringa, de poros de 0,22 µm.

As amostras foram submetidas a análises de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE, marca Agilent, modelo Infinity 1260), hifenado ao espectrômetro de massas de alta resolução do tipo Q-TOF (EM, marca Agilente, modelo 6520B) com fonte de ionização por electrospray (IES). Os parâmetros cromatográficos foram: coluna Agilent modelo Poroshell, 3 mm de diâmetro interno, 10 cm de comprimento, partículas de 2,7 µm; a fase móvel: água acidificada com ácido fórmico (0,1% vv⁻¹) (A) e metanol (B); com o gradiente: 10% de B (0 min), 98% de B (0-10 min); 100% de B (10-17 min).

Os parâmetros de ionização foram: pressão do nebulizador de 20 psi, gás secante a 8L/min a uma temperatura de 220 °C e no capilar foi aplicado uma energia de 4,5 KV.

A identificação dos constituintes foi realizada levando em consideração a massa de alta resolução (considerando o erro com a massa exata menores que 10 ppm) e os espectros de massa/massa (EM/EM), sendo estes dados cruzados com banco de dados e a literatura.

4.5 Análise dos dados

Os dados foram analisados em esquema fatorial 4 x 2 (4 genótipos x aplicação ou não de silício). Os dados de notas de injúrias de *T. absoluta*, porcentagem de frutos broqueados por *N. elegantalis* e produção de frutos por parcela também foram analisados em esquema fatorial 3 x 2 (3 genótipos x aplicação ou não de silício), excluindo os dados da linhagem de minitomate UFU MC TOM 1, uma vez que este genótipo apresentou valores muito mais baixos do que os outros genótipos para essas variáveis. Os dados obtidos foram submetidos a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Os dados de teor de açúcar foram transformados para a sua raiz para atenderem as pressuposições. Os dados de notas de injúrias de *T. absoluta* para os quatro genótipos não atenderam as pressuposições e para três genótipos apresentaram homogeneidade das variâncias pelo teste de O'Neill e Mathews. Foi realizada ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey.

Para identificar os metabólitos presentes em todas as amostras de um dos genótipos na análise metabolômica foi utilizado um filtro de frequência de 100%. Após o filtro, foi realizado o teste t não pareado, com correção de Benjamini-Hochberg, com um “fold change” maior ou igual a dois para identificar os metabólitos diferencialmente expressos, pelo menos, em duas vezes quando comparados os genótipos. Já as análises da resistência a insetos e do efeito do Si em genótipos de tomateiro foram realizadas utilizando o software R versão 3.6.3. e 0,05 de significância para todos os testes.

5. RESULTADOS

5.1 Injúrias causados por insetos e produção de frutos

Houve interação para a aplicação de Si no solo e as injúrias causadas por *T. absoluta* tanto quando foram comparados os quatro genótipos ($F_{3:21} = 24,390$; $P < 0,0001$) como quando foram comparados três genótipos, sem os dados do UFU MC TOM 1 ($F_{2:15} = 7,947$; $P = 0,0044$).

Para os quatro genótipos, as injúrias causadas pela traça-do-tomateiro foram menores na linhagem UFU MC TOM 1, sem ($F_{3:21} = 138,779$; $P < 0,0001$) ou com ($F_{3:21} = 24,390$; $P = 0,0004$) a aplicação de Si no solo, e não houve diferença nas injúrias por *T. absoluta* quando comparados os outros genótipos entre si. A adição de Si no solo não influenciou o nível de injúrias causado por *T. absoluta* no UFU MC TOM 1, porém, as injúrias pelo inseto foram menores nos híbridos LN5X5B1 e LN4X2B1 e em Santa Clara com a adição de Si ($F_{1:21} = 24,390$; $P = 0,0004$) (Tabela 1).

Tabela 1 - Notas de injúrias de *Tuta absoluta* comparando quatro ou três genótipos de tomateiro em solos sem (Si-) ou com (Si+) a aplicação de silício no solo.

Quatro genótipos	Si-	Si+
UFU MC TOM 1	1,1 bA	1,4 bA
LN5X5B1	3,3 aA	2,5 aB
LN4X2B1	3,5 aA	2,1 aB
SANTA CLARA	3,2 aA	2,4 aB
Três genótipos	Si-	Si+
LN5X5B1	3,3 aA	2,5 aB
LN4X2B1	3,5 aA	2,1 bB
SANTA CLARA	3,2 aA	2,4 abB

¹Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Fonte: A própria autora.

Para a comparação entre os três genótipos, sem a adição de Si, não houve diferença para as injúrias por *T. absoluta* ($F_{2:15} = 3,420$; $P = 0,0598$), porém, com a adição de Si, as injúrias no LN4X2B1 foram menores do que no LN5X5B1, e as injúrias

em LN5X5B1 e LN4X2B1 não diferenciaram daquelas observadas no Santa Clara ($F_{2:15} = 5,325$; $P = 0,0179$). De maneira análoga à quando se comparou os quatro genótipos, as injúrias causadas por *T. absoluta* foram menores nos três genótipos quando houve aplicação de Si do que sem a aplicação de Si ($F_{1:15} = 253,292$; $P < 0,0001$) (Tabela 1).

Não houve interação aplicação de Si no solo e genótipos para a porcentagem de frutos brocados por *N. elegantalis*, tanto analisando os quatro ($F_{3:21} = 1,117$; $P = 0,3644$) quanto os três genótipos ($F_{2:15} = 0,652$; $P = 0,5351$). A porcentagem de frutos brocados foi de três a oito vezes menor no UFU MC TOM 1 do que nos outros genótipos avaliados, os quais não diferiram entre si, sem ou com a aplicação de Si ($F_{3:21} = 10,397$; $P = 0,0002$). A adição de Si no solo reduziu os sintomas de injúrias de *N. elegantalis* em todos os genótipos testados ($F_{1:21} = 6,209$; $P = 0,0212$) (Tabela 2). De maneira análoga a avaliação dos quatro genótipos, quando foram avaliados apenas os dois híbridos (LN5X5B1 e LN4X2B1) e o Santa Clara, houve menor porcentagem de frutos brocados com a aplicação de Si para os três genótipos ($F_{1:15} = 8,805$; $P = 0,0096$).

Tabela 2 - Porcentagem de frutos brocados por *Neoleucinodes elegantalis* comparando quatro ou três genótipos de tomateiro sem (Si-) ou com (Si+) a aplicação de silício no solo.

Quatro genótipos	Si-	Si+	Média
UFU MC TOM 1	3,1	3,0	3,1 b
LN5x5B1	21,8	10,5	16,2 a
LN4x2B1	25,5	21,1	23,3 a
SANTA CLARA	27,3	14,9	21,1 a
Média	19,4 A	12,4 B	
Três genótipos	Si-	Si+	Média
LN5x5B1	21,8	10,5	16,2 a
LN4x2B1	25,5	21,1	23,3 a
SANTA CLARA	27,3	14,9	21,1 a
Média	19,4 A	12,4 B	

¹Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Fonte: A própria autora.

Não houve interação da aplicação de Si no solo e genótipos para a porcentagem de frutos viáveis ($F_{3;21} = 0,197$; $P = 0,8972$) e nem efeito da aplicação do Si ($F_{1;21} = 0,1925$; $P = 0,6653$) ou dos genótipos ($F_{3;21} = 0,73773$; $P = 0,5413$) nesta proporção (Tabela 3).

Tabela 3 - Proporção (%) de frutos viáveis e produção de frutos por parcela (g) comparando quatro ou três genótipos de tomateiro em solos sem (Si-) ou com (Si+) a aplicação de silício no solo.

Porcentagem de frutos viáveis	Si-	Si+	Média
UFU MC TOM 1	45,7	45,2	45,4 a
LN5x5B1	40,8	37,1	39,0 a
LN4x2B1	33,3	44,1	38,7 a
SANTA CLARA	27,2	33,2	30,2 a
Média	36,7% A	39,9% A	
Produção de frutos	Si-	Si+	Média
UFU MC TOM 1	117,0	403,5	260,3 b
LN5x5B1	5.249,7	4.091,8	4.670,7 a
LN4x2B1	3.206,8	8.766,8	5.986,8 a
SANTA CLARA	4.599,8	7.562,3	6.081,0 a
Média	3.293,3 A	5.206,1 A	
Produção de frutos	Si-	Si+	Média
LN5x5B1	5.249,7	4.091,8	4.670,7 a
LN4x2B1	3.206,8	8.766,8	5.986,8 a
SANTA CLARA	4.599,8	7.562,3	6.081,0 a
Média	4.352,1 A	6.806,9 A	

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Fonte: A própria autora.

Não houve interação da aplicação de Si no solo e genótipos para a produção de frutos quando analisado os quatro ($F_{3:21} = 2,327$; $P = 0,1039$) ou os três genótipos ($F_{2:15} = 2,411$; $P = 0,1236$). Quando avaliados os quatro genótipos, a produção de frutos do UFU MC TOM 1 foi de 10 a 45 vezes menor do que a dos outros genótipos, os quais não difeririam entre si, tanto com como sem Si ($F_{1:21} = 7,897$; $P = 0,0010$). Mesmo quando foram avaliados apenas os três genótipos mais produtivos, estes não apresentaram diferença para a produção de frutos, com ou sem a aplicação de Si ($F_{2:15} = 0,523$; $P = 0,6035$). Não houve efeito do Si na produção de frutos em ambas as análises, com quatro ($F_{1:21} = 3,859$; $P = 0,0629$) ou três genótipos ($F_{1:15} = 3,799$; $P = 0,0703$) (Tabela 3).

5.3 Teores de acilaçúcar e de Si foliar

Houve interação entre a aplicação de Si no solo e os genótipos avaliados ($F_{3:21} = 3,209$; $P = 0,044$) para o teor de acilaçúcares produzidos pelos genótipos de tomateiro. Foram observadas diferenças na quantidade de acilaçúcar entre os genótipos avaliados ($F_{3:21} = 13,583$; $P < 0,0001$), sendo que o genótipo UFU MC TOM 1 apresentou maior concentração dessa substância do que todos os genótipos sem adição de Si, porém, quando foi adicionado Si, o teor de acilaçúcar do LN4X2B1 foi semelhante ao do UFU MC TOM 1 (Tabela 4).

Tabela 4 - Quantidade de acilaçúcar em quatro genótipos de tomateiro em solos sem (Si-) ou com (Si+) a aplicação de silício no solo.

Genótipo	Si- (nmols/cm ² folha)	Si+ (nmols/cm ² folha)
UFU MC TOM 1	45,9 aA	45,6 aA
LN5x5B1	17,1 bA	24,3 bA
LN4x2B1	12,6 bB	31,8 abA
SANTA CLARA	21,7 bA	20,6 bA

¹ Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Fonte: A própria autora.

Ao analisarmos a quantidade de acilaçúcar em cada genótipo em relação a aplicação ou não de Si no solo, foi verificado que o Si contribuiu para aumento da produção de acilaçúcar no LN4X2B1, já para os outros genótipos não houve diferença no teor deste elemento em relação a adição de Si no solo ($F_{1:21} = 6,072$; $P = 0,0171$) (Tabela 4).

Não foi constatada interação entre os fatores genótipos e aplicação de Si no teor de Si foliar ($F_{3:21} = 2,775$; $P = 0,0666$). O teor foliar de Si foi maior no UFU MC TOM 1 do que no LN4X2B1 e não houve diferença quando comparados com quaisquer outros genótipos ($F_{3:21} = 4,788$; $P = 0,0107$). Quando comparado cada genótipo sem ou com a aplicação de Si no solo, não houve diferença para o teor de Si foliar ($F_{1:21} = 0,163$; $P = 0,6901$) (Tabela 6).

Tabela 5 - Teor de silício foliar (%) em quatro genótipos de tomateiro em solos sem (Si-) ou com (Si+) a aplicação de silício no solo.

Genótipo	Si-	Si+	Média
UFU MC TOM 1	0,37	0,30	0,36 a
LN5x5B1	0,31	0,29	0,30 ab
LN4x2B1	0,23	0,26	0,25 b
SANTA CLARA	0,34	0,30	0,32 ab
Média	0,32 A	0,30 A	

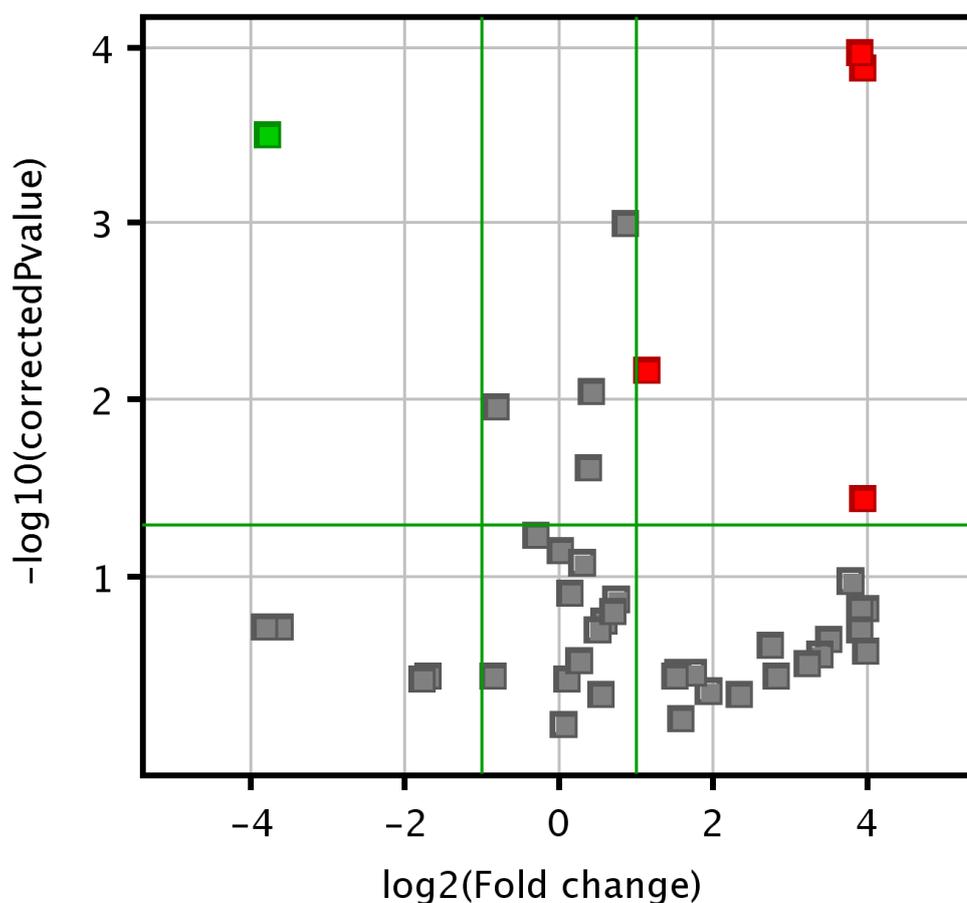
¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Fonte: A própria autora.

5.1 Identificação de compostos de defesa por abordagem metabolômica

A análise metabolômica da linhagem de minitomate, UFU MC TOM 1 e a cultivar suscetível Santa Clara resultou na identificação de 676 metabólitos. Após a utilização do filtro de frequência de 100% foram identificados 42 metabólitos (Figura 1), dos quais quatro foram diferencialmente expressos em UFU MC TOM 1 e um no Santa Clara (Figura 1, Tabela 6).

Figura 1 - Metabólitos identificados quando comparados os genótipos de tomateiro UFU MC TOM 1 e Santa Clara, por meio da abordagem metabolômica, após a aplicação de filtro de frequência de 100% e “fold change” maior ou igual a dois (linhas verdes transversais) e teste t não pareado, com correção de Benjamini-Hochberg ($p \leq 0,05$) (linha verde longitudinal): cinza - expressão do metabólito não significativa; verde – expressão do metabólito menor no UFU MC TOM 1; vermelho - expressão do metabólito maior no UFU MC TOM 1.



Fonte: A própria autora.

Dos quatro metabólitos com maior expressão em UFU MC TOM 1, riesling acetal foi o que apresentou a menor diferença entre os genótipos (Tabela 6), com a menor frequência média de detecção entre UFU MC TOM 1 e Santa Clara (Figura 2A), já que foi detectada em todos os indivíduos avaliados dos dois genótipos (Figura 2B). Veranisatin C vem com a segunda menor diferença média de detecção entre os dois genótipos (Tabela 6, Figura 2A), tendo sido detectada, com frequência entre média a alta, em todos os indivíduos de UFU MC TOM 1 e com frequência média em cinco indivíduos de Santa Clara (Figura 2B).

Tabela 6 - Metabólitos diferencialmente expressos, por abordagem metabolômica, e suas proporções nos genótipos UFU MC TOM 1 e Santa Clara.

Metabólitos	Classificação	Expressão de detecção		Probabilidade corrigida*
		UFU MC TOM 1	Santa Clara	
Riesling acetal	Álcool	16,0	14,9	$7,64e^{-3}$
Triptofano-glutamina-treonina	Aminoácido	16,4	1,6	$1,99e^{-6}$
Veranisatin C	Terpeno lactona	17,8	8,7	$4,30e^{-2}$
PI-Cer(t18:0/22:0(2OH))	Ceramida fosfoinositol	20,9	0,0	$3,27e^{-27}$
Glicina-prolina-lisina	Aminoácido	3,6	16,5	$3,30e^{-4}$

*Diferença significativa na expressão dos metabólitos pelo teste t não pareado com correção de Benjamini-Hochberg.

Fonte: A própria autora.

Já triptofano-glutamina-treonina teve frequência média de detecção mais elevada em UFU MC TOM 1 e glicina-prolina-lisina em Santa Clara (Tabela 6, Figura 2A), uma vez que a frequência de detecção desses metabólitos foram, respectivamente, muita baixa (um indivíduo) em Santa Clara ou nula em UFU MC TOM 1 (Figura 2B). O ceramida fosfoinositol, PI-Cer(t18:0/22:0(2OH)) teve a maior diferença na frequência média de detecção entre os dois genótipos (Tabela 6, Figura 2A), pois só foi detectado em UFU MC TOM 1 (Figura 2B).

6. DISCUSSÃO

A aplicação de Si no solo aumentou a resistência a insetos em todos os genótipos de tomateiro testados, porém, foi dependente de qual parte da planta foi atacada. Para a linhagem UFU MC TOM 1, a com maior resistência constitutiva, não houve efeito do Si para o ataque da praga nas folhas do tomateiro *T. absoluta*, porém, reduziu o número de frutos brocados por *N. elegantalis*. A presença de substâncias de defesa, como acilaçúcar e veranisatina C, nas folhas do UFU MC TOM 1, provavelmente ofereceram proteção suficiente para este genótipo, não havendo efeito do Si no aumento da resistência de *T. absoluta*. Já para a variedade padrão de suscetibilidade, Santa Clara, e para os híbridos oriundos de uma linhagem comercial com a linhagem UFU MC TOM 1, o Si aumentou a resistência da planta, reduzindo a população das duas pragas avaliadas, tanto para os sintomas nas folhas, quanto nos frutos do tomateiro.

Com isso, para o fruto do tomateiro, foi possível observar que o Si reduziu o ataque de pragas em todos os genótipos avaliados, independente do grau de resistência constitutiva. Apesar de não haver outros registros do Si reduzindo as injúrias causadas por insetos em frutos do tomateiro, o Si altera a composição química do fruto do tomate. Segundo Wang et al. (2024), a adição de Si influenciou positivamente a aparência dos frutos de tomate, aumentando a firmeza da casca e o peso do fruto. Ainda, segundo os mesmos autores, o Si também aumentou a qualidade nutricional dos frutos, com o aumento do conteúdo de açúcares, sólidos e proteínas solúveis, de vitamina C, de licopeno, de luteína e de aminoácidos, além de reduzir o teor de nitrato. Apesar de no presente trabalho não terem sido realizadas análises para avaliar a composição química do fruto do tomateiro, é provável que alterações nos frutos, causadas pela adição de Si no solo, tenham influenciado na redução de ataque de *N. elegantalis*.

A redução na população de pragas pela utilização de Si vem sendo reportada em diversas espécies de plantas acumuladoras deste elemento (Moraes; Carvalho, 2002; Basagli et al., 2003; Dias et al., 2014; Boer et al., 2017; Nikpay; Laane, 2020) ou não acumuladoras de Si (Ferreira et al., 2011; Callis-Duehl et al., 2017; Peixoto et al., 2017; Johnson et al., 2020). Especificamente em tomateiro, foram observados efeitos positivos de Si na redução da população de *T. absoluta* (Santos, 2008; 2012). Em plantas acumuladoras de Si, existem dois principais mecanismos que atuam sobre os insetos. A primeira é a barreira física, formada pelo acúmulo de sílica amorfa nas paredes celulares, responsável pelo aumento da rigidez e redução da palatabilidade e digestibilidade dos

tecidos vegetais, acarretando na dificuldade em obter e processar o alimento, desgastes das mandíbulas e ruptura do tecido do intestino médio dos insetos (Massey; Hartley, 2009; Leroy et al., 2019). O segundo mecanismo é na alteração bioquímica, já que o Si induz respostas de defesa bioquímica nas plantas, dentre elas o aumento da atividade de enzimas relacionadas ao alívio ao estresse oxidativo e na defesa das plantas, equilíbrio hormonal, o acúmulo de compostos secundários tóxicos para os insetos e liberação de substâncias voláteis que tornam as plantas menos atrativas para os insetos fitófagos e mais atrativas para os inimigos naturais (Liu et al., 2017; Camargo, 2008;; Gregor, 2018; Oliveira et al., 2022; Xiao et al., 2023).

Em plantas não acumuladoras de Si, como o tomateiro, não ocorre a formação da barreira física, em função da pequena quantidade de Si absorvido e acumulado, com isso, apenas as alterações bioquímicas causadas pela adição de Si explicam o aumento da resistência a insetos (Gomes et al., 2005; Reynolds et al., 2016; Alhousari; Greger, 2018;). Neste contexto, a relação entre os níveis de acilaçúcar, importante composto secundário envolvido na resistência do tomateiro aos insetos, e a aplicação de Si foi dependente do genótipo. A aplicação de Si elevou o teor de acilaçúcar em LN4X2B1, porém, não interferiu no teor desta substância nos outros genótipos. Sem a aplicação de Si, os teores de acilaçúcar foi maior na linhagem UFU MC TOM 1 do que nos outros genótipos testados, porém, com a aplicação de Si, LN4x2B1 apresentou teor desta substância semelhante a UFU MC TOM 1. Foi possível observar que a aplicação de Si aumentou a resistência de LN4x2B1, em comparação a LN5x5B1, para a praga que atacou as folhas do tomateiro *T. absoluta*, indicando uma interação positiva para a aplicação de Si e o teor de acilaçúcar, importante substância de defesa do tomateiro.

Os teores de Si encontrados nas folhas do tomateiro podem ser considerados baixos, mas condizentes com o observado para o tomateiro (Lana et al., 2003; Zhou et al., 2019; Zhang et al., 2019; Moraes et al., 2020; Hoffmann et al., 2020; Chakma et al., 2021), uma planta não acumuladora de Si. Por exemplo, as porcentagens de Si encontradas no presente trabalho foram semelhantes as observadas por Lana et al. (2003) e Hoffmann et al. (2020), os quais observaram ao redor de 0,5% de Si acumulado na massa seca das plantas de tomateiro analisadas. Além disso, o teor foliar de Si no presente trabalho foi dependente do genótipo, porém, não foi afetado pela adição deste elemento no solo. O UFU MC TOM 1 apresentou maior porcentagem de Si foliar do que o LN4x2B1, com ou sem a aplicação de Si no solo, demonstrando maior potencial de absorver e acumular este elemento. Contudo, o padrão de susceptibilidade, Santa

Clara e LN5X5B1, apresentaram porcentagem de Si foliar semelhantes ao UFU MC TOM 1. Existem evidências de que genótipos de cana-de-açúcar e milho que apresentam maior grau de resistência constitutiva têm maior porcentagem de Si foliar (Deren, 2001; Almeida et al., 2015; Reynolds et al., 2009, 2016; Boer et al., 2019), sendo uma vantagem a mais na redução das populações de pragas desses genótipos. Já em culturas como o trigo e o sorgo a hipótese de maior porcentagem de Si em plantas com maior resistência não se confirmou (Sampaio et al., 2020; oliveira et al., 2023) e os dados observados para o tomateiro parecem corroborar com a não existência de relação entre a capacidade de absorver e acumular Si e o grau de resistência constitutiva do genótipo.

Não foi observado efeito no Si na proporção de frutos viáveis ou no peso de frutos do tomateiro, para nenhum dos genótipos avaliados. Resultados semelhantes foram obtidos por Lana et al. (2003) e Pereira et al. (2003), os quais observaram que a aplicação de Si via solo não foi eficiente em aumentar produtividade do tomateiro. Contudo, o aumento no número, no rendimento e na qualidade dos frutos do tomateiro pela aplicação de Si foram observados por outros autores (Santos, 2008; Oliveira et al., 2020; Flores et al., 2023; Wang et al., 2024). O Si absorvido pelas plantas proporciona o aumento da resistência da parede celular, regulação da evapotranspiração (economia de água), aumento da rigidez estrutural (maior resistência ao acamamento), melhoria na arquitetura da planta, menor sombreamento de folhas, maior interceptação luminosa, aumento da taxa fotossintética e, por fim, aumento da produtividade e da qualidade dos frutos (Vilela, 2009; Yan et al., 2018).

A linhagem de minitomate UFU MC TOM 1 apresentou maior teor de substâncias de defesa, veranisatina C e acilaçúcar, e menor ataque de pragas do que o padrão de suscetibilidade, Santa Clara. Dos quatro metabólitos expressos nas folhas do minitomate na análise de metabolômica, a veranisatina C é o único que apresenta potencial para a proteção da planta do tomateiro UFU MC TOM 1 contra os insetos pragas. Os aminoácidos (tripeptídeos) (LEE et al., 2023) e ceramida fosfoinositol (ALI et al., 2018) podem estar relacionados a defesa da planta, porém não como substância tóxicas e sim nas diversas rotas metabólicas que participam. Contudo, não existem evidências de que o reisling acetal tenha relação com a resistência da linhagem UFU MC TOM 1.

A veranisatina C, N-(2-hydroxydocosanoyl)-4R-hydroxysphinganine-1-phospho-(1'-myo-inositol), é um sesquiterpeno pertencente a classe dos compostos orgânicos chamados de terpenos lactonas, presente nos vegetais, com função

neurotóxica, assim como a veranisatina A, veranisatina B, picrotoxina, picrodendrinas e anisatina (Nakamura et al., 1996; Kuriyama et al., 2002). De acordo com Nakamura et al. (1996), os sesquiterpenóides neurotróxicos, veranisatinas A, B e C, foram isolados de anis estrelado (*Illicium verum* Hook. fil., Illiciaceae). As veranisatinas provocaram convulsão e toxicidade letal em camundongos na dose de 3 mg/kg e em doses mais baixas causaram hipotermia (Nakamura et al., 1996). Ainda segundo Kuriyama et al (2002), o mecanismo de ação de uma variedade de terpenoides de origem vegetal, como verasatina, picrotoxina, picrodendrinas e anisatina, foi por antagonismo não competitivo dos receptores GABA, o qual atua como neurotransmissor em vertebrados e invertebrados. Em estudos, esses autores analisaram a interação da anisatina e de 12 análogos da anisatina, entre eles a verasatina A, com receptores GABA em moscas domésticas e rato, e verificou-se que a veranisatina A foi o inibidor mais potente nos receptores da mosca doméstica.

É improvável que a maior resistência a insetos do UFU MC TOM 1, quando comparado ao Santa Clara, esteja relacionada com algum dos outros metabólitos expressos nas folhas desses genótipos de tomateiro, além da veranisatina C. Por exemplo, os tripeptídeos podem ter funções relacionadas com a defesa das plantas a estresses bióticos e abióticos (Lee et al., 2023), o glutamato, aminoácido componente do tripeptídeo triptofano-glutamina-treonina (maior expressão no UFU MC TOM 1) e a lisina, componente de glicina-prolina-lisina (maior expressão no Santa Clara), estão relacionados ao aumento de resistência das plantas às doenças (Fabro et al., 2004; Návarová et al., 2012; Kodatoni et al., 2016). O composto PI-Cer(t18:0/22:0(2OH)) (ceramida fosfoinositol) é um esfingolípido encontrado na parede celular de fungos e plantas e, de forma análoga aos aminoácidos, pode ter relação com a maior eficiência na resposta ao estresse, já que é conhecido que os esfingolípídeos atuam como sinalizador de estresses bióticos e abióticos nas plantas (Ali et al., 2018). Já o reisling acetal (álcool) tem sido relacionado a qualidade de vinhos, pois é uma substância que interfere no aroma da bebida (Merran et al., 2009; Han et al., 2019), provavelmente sem envolvimento na defesa vegetal contra insetos.

7 CONCLUSÕES

A linhagem UFU MC TOM1 apresentou maior resistência constitutiva do que o padrão de suscetibilidade Santa Clara para *T. absoluta* e *N. elegantalis*, enquanto os híbridos LN5x5B1 e LN4x2B1 apresentaram resistência constitutiva para *T. absoluta* e *N. elegantalis* compatíveis com o padrão de suscetibilidade. O genótipo com maior teor de acilacúcar, UFU MC TOM 1, independente da aplicação de Si, apresentou maior resistência a *T. absoluta* e *N. elegantalis*. Não houve relação entre o acúmulo de Si e a resistência constitutiva às pragas nos genótipos de tomateiro avaliados. A aplicação de Si no solo aumentou o teor de acilacúcar nas folhas de tomateiro LN4x2B1. A aplicação de Si no solo aumentou a resistências a *T. absoluta* nos genótipos suscetíveis e aumentou a resistências a *N. elegantalis* em todos os genótipos, independente do grau de resistência. A aplicação de Si no solo não afetou a produção do tomateiro, independente do grau de resistência constitutiva às pragas dos genótipos. O metabólito veranicitina C apresenta potencial como substâncias de defesa na linhagem UFU MC TOM1.

REFERÊNCIAS

ALHOUSARI, F.; GREGER, M Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. **Plants**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 3, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants7020033>.

ALYOUSUF, A., HAMID, D., MOHSEN A., DESHER, M. A., NIKPAY, A. HENK-MARTEN LAANE, H. M. Effect of Silicic Acid Formulation (Silicon 0.8%) on Two Major Insect Pests of Tomato under Greenhouse Conditions. **Springer Nature B.V.**, [s.l.], v. 22, n. 14, p. 3019 -3025, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01091-7>.

ALI, U.; LI, H.; WANG, X.; GUO, L. Emerging roles of sphingolipid signaling in plant response to biotic and abiotic stresses. **Molecular Planta**, [s.l.], v. 11, n. 11, p. 1328-1343, 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.molp.2018.10.001>

BALASTA, M.L.F.C. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.67, n.8, p.2356-2363, Aug. 1989. DOI <https://doi.org/10.1139/b89-301>

BALDIN, E.L.L.; VENDRAMIM, J.D.; LOURENÇÃO, A.L. Resistência de genótipos de tomateiro à mosca-branca Bemisia tabaci (Gennadius) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, [s.l.], v. 34, p. 435-441, 2005. DOI <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000300012>

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDORFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura). **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v.89, p.1-8, 2000. Encarte Técnico.

BAICHO, Z.,JAUFEERA LLY-FAKIM, Y., Identificação e análise de genes diferencialmente expressos em linhagens de *Solanum* em resposta ao desafio com um *Ralstonia solanacearum* filotipo I cepa. **Plant Gene**, [s.l.], v. 8, p. 1-8, dez. 2016.

BARONA, H.G.; PARRA, A.S.; VALLEJO, F.A.C Evaluación de especies silvestres de *Lycopersicon* sp., como fuente de resistencia a *Scrobipalpula absoluta* (Meyrick) y su intento de transferencia a *Lycopersicon esculentum* Mill. **Acta Agronómica**, v. 39, p.34-45, 1989.

BASTOS, C. S.; RIBEIRO, A. V.; SUINAGA, F. A.; SANDERSON MELO BRITO, S. M.; OLIVEIRA, A. A. S.; BARBOSA, T, M.; SANTOS, P. J. OLIVEIRA, D. V. V.; TEICHMANN, Y. S. K. **Avanços tecnológicos aplicados à pesquisa na produção vegetal**. [S.l.: s.n], p. 556, 2015.

BIONDI, A.; GUEDES, R. N. C.; WAN, F. H.; DESNEUX, N. Ecology, worldwide spread, and management of the invasive south American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: past, present, and future. **Annual Review of Entomology**, [s.l.], v. 63, p. 239-258, 2018. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-034933>

BISHOP, G J; HARRISON, K; JONES, J D. The tomato Dwarf gene isolated by heterologous transposon tagging encodes the first member of a new cytochrome P450 family. **The Plant Cell**, [s.l.], v. 8, n. 6, p. 959–969, 1996. <https://doi.org/10.1105/tpc.8.6.959>

- BOER, C.A., SAMPAIO, M.V., PEREIRA, H. S. Silicon-mediated and constitutive resistance to *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae) in corn hybrids. **Bulletin of Entomological Research**, [s.l.], v. 119, p. 356–364, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007485318000585>
- BURKE, B.A.; GOLDSBY, G.; MUDD, J.B. Polar epicuticular lipids of *Lycopersicon pennellii*. **Phytochemistry**, [s.l.], v. 26, p. 2567-2571, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)83879-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)83879-0)
- CAI, K., GAO D., LUO S., ZENG R., YANG J., ZHU X. Mecanismos fisiológicos e citológicos da resistência induzida pelo silício em arroz contra a brusone. **Planta Fisiol.** [s.l.], v. 134, p. 324-33, 2008. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01140.x>
- CALLIS-DUEHL, K. L, MCAUSLANE, H. J, DUEHL, A. J, LEVEY, D. J. The effects of silica fertilizer as an anti-herbivore defense in cucumber. **J Hort Res**, [s.l.], v 25, p. 89–98, 2017. DOI <https://doi.org/10.1515/johr-2017-0010>
- CAMARGO, A. M. M. P.; CAMARGO, F. P; ALVES, H. S; CAMARGO FILHO, W. P. C. **Desenvolvimento do sistema agroindustrial de tomate. Informações Econômicas**, [s.l.], v 36, p. 53-65; 2006.
- CAMARGO, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. **Informações Agrônomicas**, [s.l.], v. 155, p. 1-8, 2016.
- CAVASIN, P. Y.; FUMES, L. A. A.; FONSECA, A. R.; SILVA, D. J. H. D. Evaluation of families derived from backcrosses of processed tomato with dwarfism gene. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.21, n.1, e362221113, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332021v21n1n13>
- CHIBA, Y., MITANI, N., YAMAJI, N., MA, J. F. HvLsi is a silicon influx transporter in barley. **Plant Journal**, oxford, v 5, n, p. 810 – 818, 2009. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03728.x>
- COOKE, J.; LEISHMAN, M. R. Consistent alleviation of abiotic stress with silicon addition: a meta-analysis. **Funct. Ecol.**, [s.l.], v. 30, p. 1340–1357, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12713>
- CRUZ, M. F. A., DEBONA, D., RIOS, J. A., RODRIGUES, F. A. 2015. Potentiation of defense-related gene expression by silicon increases wheat resistance to leaf blast. **Trop. Plant Pathol.** [s.l.], v. 40, p. 394–400, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-015-0051-7>
- CUENCA, M. C.; AGRASOT, M. Á. C.; PEGUEROLES, C. M.; CANTÓ, V.E. New cases of star anise poisoning: are we providing enough information? Persisten las intoxicaciones por anís estrellado, estamos dando la suficiente. **Neuro English**, [s.l.], v. 34, p. 211–213, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2017.05.006>
- DATNOFF, L. E., RODRIGUES, F. A., SEEBOLD, K.W., 2007. Silicon and Plant Nutrition. Mineral nutrition and plant disease. **Saint Paul**, [S.l.: s.n], p. 233-246

DESHMUKH, R. K., VIVANCOS, J., GUERIN, V., SONAH, H., LABB, C., BELZILE, F. BELANGER, R. R. Identification and functional characterization of silicon transporters in soybean using comparative genomics of major intrinsic proteins in *Arabidopsis* and rice. **Plant Molecular Biology**, [s.l.], v. 83, p. 303–315, 2013. DOI <https://doi.org/10.1007/s11103-013-0087-3>

DONIZETE, L. G., MALUF, W. R., CARDOSO, M. G., RESENDE, J. T. V., CASTRO, E. SANTOS, N. M., NASCIMENTO, I. R., FARIA, M. V. Relação entre zingibereno, tricomas foliares e repelência de tomateiros a *Tetranychus evansi*. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.41, n.2, p.267-273, fev. 2006. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200011>

DIAS, P.A.S.; SAMPAIO, M.V.; RODRIGUES, M.P.; KORNDÖRFER, A.P.; OLIVEIRA, R.S.; FERREIRA, S.E.; KORNDÖRFER, G.H. Induction of resistance by silicon in wheat plants to alate and apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, [s.l.], v.43, n.4, 949-956, 2014. DOI <https://doi.org/10.1603/EN13234>

EIGENBRODE, S.D.; TRUMBLE, J.T. Antibiosis to beet armyworm (*Spodoptera exigua*) in *Lycopersicon* accessions. **HortScience**, [S.l.]v.28, p.932-934, 1993. DOI <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.28.9.932>

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.** v. 91, p.11–17, p. 1994. DOI <https://doi.org/10.1073/pnas.91.1.11>

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Ann. Appl. Biol.**, [s.l.], v. 155, p. 155–160. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>

FABRO, G.; KOVÁCS, I.; PAVET, V.; SZABADOS, L.; ALVAREZ, M. E. O acúmulo de prolina e a ativação do gene *AtP5CS2* são induzidos por interações planta-patógeno incompatíveis em *Arabidopsis*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, [s.l.], v. 17, p. 343–350; 2004. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI.2004.17.4.343>

FAO. **FAO STAT**. [S.l.], 2023. Portal. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity.

FAUTEUX, F., REMUS-BOREL, W., MENZIES, J.G. BELANGER, R.R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiol**, v. 249, p. 1-6; 2005. DOI <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.06.034>

FERNIE, A., **Funct. Plant Biol.**, [s.l.], v. 30, p. 111–120, 2003. DOI <https://doi.org/10.1071/FP02163>

FERREIRA R., MORAES J., Silicon influence on resistance induction against *Bemisia tabaci* biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) and on vegetative development in two soybean cultivars. **Neotrop. Entomol**, v.40, n 4, p.495–500, 2011. DOI <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2011000400014>

FIEHN, O., KOPKA, J., DÖRMANN, P., ITMANN, T., TRETHERWEY, R. N., Willmitzer, L. **Nature Biotechnol**, v 18, p.1157–1161, (2000). DOI <https://doi.org/10.1038/81137>

- FINZI, R.R.; MACIEL, G.M.; SILVA, E.C.; LUZ, J.M.Q; BORBA, M.E.A. Agronomic performance of mini-tomato hybrids from dwarf lines. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.41, n. 1, p.15-21, 2017. DOI <https://doi.org/10.1590/1413-70542017411021416>
- FINZI, R. R; MACIEL, G. M., PEREZ, H.G., SILVA, M.F., PEIXOTO, J.V.M., GOMES, D.A. Agronomic potential of BC1 F2 dwarf round tomato populations. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.44, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044028819>
- FLORES, C. L. L., CASTRO, A. A., GUTIÉRREZ, A. V.T., TAFOYA, A. F., QUIÑONEZ, J. A. A., ROMÁN, L., Producción de tomate en respuesta a dosis de silício. **Ecosist. Recur. Agropec**, v 10, n 3, P. 38 - 51, 2023. DOI <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3851>
- FOBES, J.F.; MUDD, J.B.; MARSDEN, M.P.F.; Epicuticular lipid accumulation on the leaves of *Lycopersicon pennellii* (Corr.) D'Arcy e *Lycopersicon esculentum* Mill. **Plant Physiology**, v.77, n.1, p.567-570, 1985. DOI <https://doi.org/10.1104/pp.77.3.567>
- FREITAS, J.A.; MALUF, W.R.; CARDOSO, M. das G.; BENITIES, F.R.G. Métodos para a quantificação do zingibereno em tomateiro, visando à seleção indireta de plantas resistentes a artrópodes-praga. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.22, n.4, p.943-949, 2000.
- FREITAS, J.A.; MALUF, W.R.; CARDOSO, M.G.; GOMES, L.A.A.; BEARZOTTI, E. Inheritance of foliar zingiberene contents and their relationship to trichome densities and whitefly resistance in tomatoes. **Euphytica**, v.127, p.275-287, 2002. DOI <https://doi.org/10.1023/A:1020239512598>
- FREW, A, POWELL, J.R, SALLAM, N., ALLSOPP, P. G, JOHNSON, S. N. 2016. Trade-offs between silicon and phenolic defenses may explain enhanced performance of root herbivores on phenolic-rich plants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 42, p. 768–771. DOI <https://doi.org/10.1007/s10886-016-0734-7>
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S. et al. **Entomologia agrícola. Piracicaba: Fealq**, 2002.
- GASPARINI, K.; GASPARINI, J.; THEREZAN, R.; VICENTE, M. H. A, SAKAMOTO, T., ANTONIO ^ FIGUEIRA, A., AGUSTIN ZSOG, A., PERES, L.; Natural genetic variation in the HAIRS ABSENT (H) gene increases type-VI glandular trichomes in both wild and domesticated tomatoes, **Journal of Plant Physiology**, v. 280, p. 53 – 59. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153859>
- GLAS J, SCHIMMEL B, ALBA J, ESCOBAR-BRAVO R, SCHUURINK R, KANT M. Plant glandular trichomes as targets for breeding or engineering of resistance to herbivores. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 13. DOI <https://doi.org/10.3390/ijms131217077>

- GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; SANTOS, C.D.; GOUSSAIN, M.M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.62, n.6, p.547-551, 2005. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000600006>
- GOMES, D. A.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; OLIVEIRA, C. S.; FINZI, R. R.; MARQUES, D. J. Selection of BC 1 F 3 populations of Santa Cruz type dwarf tomato plant by computational intelligence techniques. **Bragantia**, Campinas, v.80, P. 48 - 21, 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210046>
- GONÇALVES NETO, A.C.; SILVA, V.F.; MALUF, W.R.; MACIEL, G.M.; NÍZIO, D.A.C.; GOMES, L.A.A.; AZEVEDO, S.M. Resistência à traça-do-tomateiro em plantas com altos teores de acilaçúcares nas folhas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.28, n.2, p.203- 208, 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000200011>
- GONÇALVES, L. D., MALUF, W. R., CARDOSO, M. G., JULIANO TADEU VILELA DE RESENDE, J. T. V., CASTRO, E. M., SANTOS, N. M., NASCIMENTO, I. R., FARIA, M. V., Relação entre zingibereno, tricomas foliares e repelência de tomateiros a *Tetranychus evansi*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.2, p.267-273, 2006. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200011>
- GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagartado-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v.3, p.306-310, 2002. DOI <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2002000200019>
- GIANFAGNA, T.J.; CARTER, C.D.; SACALIS, J.N. Temperature and photoperiod influence trichome density and sesquiterpene content of *Lycopersicon hirsutum* f. *hirsutum*. **Plant Physiology**, v.100, p.1403-1405, 1992. DOI <https://doi.org/10.1104/pp.100.3.1403>
- GIL, M. A. Resistencia a insectos en tomate (*Solanum* spp.) cultrop vol.36 no.2 Havana abr.-jun. 2015. GUNES, A., INAL, A., BAGCI, E.G., COBAN, S., Silicon mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 6, p. 807-811, 2007. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.07.011>
- 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*, [s.l.], v. 10, p. 11 - 32, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01132>
- HAN, G., WEBB, M. R. WATERHOUS, A. L. Acetaldehyde reactions during wine bottle storage. **Química Alimentar**, v. 290, p. 208 - 215. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.137>
- HOFFMANN, J., BERNI, R., HAUSMAN, J. F., GUERRIERO, G. A review on the beneficial role of silicon against salinity in non-accumulator crops: Tomato as a

model, **Biomolecules**. V. 10 n 9, p. 1284, 2020. DOI <https://doi.org/10.3390/biom10091284>

IZUMI, T., SAKUMA, H., YOKOZAWA, M., **Nature Clim.** v. 3, p. 904–908, 2013. DOI <https://doi.org/10.1038/nclimate1945>

JOHNSON, S.N., ROWE, R. C., HALL, C. R Silicon is an inducible and effective herbivore defence against *Helicoverpa punctigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in soybean. **Bulletin of Entomological Research**, v. 110, n. 3, p. 417–422, 2020. DOI <https://doi.org/10.1017/S0007485319000798>

KADOTANI, N., AKAGI, A., TAKATSUJI, H., , T GARASHI, D. Aminoácidos proteinogênicos exógenos induzem resistência sistêmica em arroz. **BMC Biologia Vegetal**, v. 16, p. 60, 2016. DOI <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0748-x>

KING, R.R.; CALHOUN, L.A.; SINGH, R.P.; BOUCHER, A. Sucrose esters associated with glandular trichomes of wild *Lycopersicon* species. **Phytochemistry**, v.29, p.2115-2118, 1990. DOI [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(90\)83017-U](https://doi.org/10.1016/0031-9422(90)83017-U)

KATZ, O., PUPPE, D., KACZOREK, D., PRAKASH, N. B., SCHALLER, J. Silicon in the soil: Plant continuum: Intricate feedback mechanisms within ecosystems. **Plants**, v. 10, p. 652, 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/plants10040652>

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG. v. 23, p.623- 629, 1999. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300017>

KORNDÖRFER, G.H. **Uso do Silício na Agricultura**. 2015. Disponível em : <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/silicio/efeitos/efeitos.htm>. Acesso em : 30/09/2023.

KURIYAMA, T., SCHMIDT, T. J., OKUYAMA, E., OZOE, Y. Relações Estrutura-Atividade de Terpenóides *Seco* -Prezizaane em Receptores de Ácido γ -Aminobutírico de Moscas Domésticas e Ratos. **Química Bioorgânica e Medicinal**, v. 10, p. 187 – 188. DOI [https://doi.org/10.1016/S0968-0896\(02\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0968-0896(02)00011-1)

LANA, R. M. Q., KORNDÖRFER, G. H., JÚNIOR, L. A. Z., SILVA, A. F., LANA, A. M. Q. Efeito do silicado de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, p. 15-20, 2003.

LEE, K. T, LIÃO, H. S., HSIEH, H, M. **Plant Cell Physiol. National Science and Technology Council**, Taiwan, 2023). DOI <https://doi.org/10.1093/pcp/pcad054>

LEITE, G.L.D.; PICANÇO, M.; AZEVEDO, A.A.; GONRING, A.H.R. Efeito de tricomas, aleloquímicos e nutrientes na resistência de *Lycopersicon hirsutum* à traça-do-tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2059-2064, 1999. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999001100012>

LEROY, TOMBEUR, F., WALGRAFFE, Y., CORNÉLIS, J. T., VERHEGGEN, F. J., Silicon and plant natural defenses against insect pests: Impact on plant volatile organic compounds and cascade effects on multitrophic interactions. **Plants**, v,8, p. 444, 2019. DOI <https://doi.org/10.3390/plants8110444>

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; HAIJUN, G.; SONG, A. Silicon in Agriculture. **From Theory to Practice**. Dordrecht: Springer, 2015. DOI <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9978-2>

LIMA, IP; RESENDE, JTV; OLIVEIRA, JRF; FARIA, MV; DIAS, DM; RESENDE, NCV. Selection of tomato genotypes for processing with high zingiberene content, resistant to pests. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 387-391, 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-05362016003013>

LIU, J., ZHU, J., ZHANG, P., HAN, L., REYNOLDS, O. L., ZENG, R., WU J., SHAO, Y., YOU, M., GURR, G. M. A. suplementação de silício altera a composição de voláteis de plantas induzidas por herbívoros e aumenta a atração de parasitóides para plantas de arroz infestadas. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 12 - 65. 2017. DOI <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01265>

MERRAN A. DANIEL, DIMITRA L. CAPONE , MARK A. SEFTON, GORDON M. ELSEY Riesling acetal is a precursor to 1,1,6-trimethyl-1,2-dihydronaphthalene (TDN) in wine. **Australian Society of Viticulture and Oenology Inc**, 2008. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2008.00033.x>

MARODIN, J. C., RESENDE, J. T. V., MORALES, R. G. F., SILVA, M. L., GALVÃO, A. G., ZANIN, D. S. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 220-224, 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000200018>

MITANI, N., CHIBA, Y., YAMAJI, N. MA, J. F. Identification and characterization of maize and barley Lsi2-like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. **Plant Cell**, v. 21, p. 2133–2142, 2009. DOI <https://doi.org/10.1105/tpc.109.067884>

MITANI, N., YAMAJI, N., AGO, Y., IWASAKI, K. AND MA, J. F. Isolation and functional characterization of an influx silicon transporter in two pumpkin cultivars contrasting in silicon accumulation. **Plant J**, v. 66, p. 231– 240, 2011. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04483.x>

MITANI-UENO, N., YAMAJI, N., ZHAO, F.-J. AND MA, J.F. The aromatic/ arginine selectivity filter of NIP aquaporins plays a critical role in substrate selectivity for silicon, boron, and arsenic. **J. Exp. Bot**, v. 62, p. 4391– 4398, 2011. DOI <https://doi.org/10.1093/jxb/err158>

MONTPETIT, J., VIVANCOS, J., MITANI-UENO, N., YAMAJI, N., RE´MUS-BOREL, W., BELZILE, F., MA, J.F. AND BE´LANGER, R.R. Cloning, functional characterization and heterologous expression of TaLsi1, a wheat silicon transporter gene. **Plant Mol. Biol**, v. 79, p.35–46, 2012. DOI <https://doi.org/10.1007/s11103-012-9892-3>

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of Silicon on the Growth of Soybean Plants in a Solution Culture. **Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo**, v.31, p.625-636, 1985. DOI <https://doi.org/10.1080/00380768.1985.10557470>

NEIVA, IP; ANDRADE JÚNIOR, VC; MALUF, WR; OLIVEIRA, CM; MACIEL, GM. 2013. Role of allelochemicals and trichome density in the resistance of tomato to whitefly. **Ciência e Agrotécologia**, v. 37, p. 61-67. DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000100007>

NASCIMENTO, T. J.K, DEBONA D., SILVEIRA R.P, SILVA, C.L, DAMATTA, M.F, RODRIGUES, Á. F. Silicon-induced changes in the antioxidant system reduce soybean resistance to frogeye leaf spot. **J Phytopathol**, v. 164, p. 768–778, 2016. DOI <https://doi.org/10.1111/jph.12497>

NAKAMURA T, OKUYAMA E, YAMAZAKI M. Neurotropic components from star anise (*Illicium verum* Hook.fil.) **Chem Pharm Bull**, v. 44, p. 23 - 44, 1996. DOI <https://doi.org/10.1248/cpb.44.1908>

NÁVAROVÁ H., BERNSDORFF F., DÖRING A. C., ZEIER J. O ácido pipecólico, um mediador endógeno de amplificação de defesa e priming, é um regulador crítico da imunidade vegetal induzível. **Célula Vegetal**, v. 24, 2012. DOI <https://doi.org/10.1105/tpc.112.103564>

NAZARALIAN, S.; MAJD, A.; IRIAN, S.; NAJAFI, F.; GHAREMANINEJAD, F.; LANDBERG, T.; GREGOR, M. Comparison of silicon nanoparticles and silicate treatments in fenugreek. **Plant Physiol. Biochem**, v. 15, p. 25–33, 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.009>

OLIVEIRA, R. S.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; GONÇALVES, F. G.; SAMPAIO, M. V.; KORNDÖRFER, A. P.; SILVA, W. D.; BENTO, J. M. S. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **PLoS ONE, San Francisco, California**, v. 15, n. 4, 2020. DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231005>.

OLIVEIRA, CM; ANDRADE JUNIOR, VC; MALUF, WR; NEIVA, IP; MACIEL, GM. 2012. Resistance of tomato strains to the moth *Tuta absoluta* imparted by allelochemicals and trichome density. **Ciência e Agrotecnologia**, v.36, p. 45-50, 2022. DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000100006>

OLIVEIRA, R.S., SAMPAIO, M.V., CARVALHO, F.J., ALBUQUERQUE, C.J.B., KORNDÖRFER, G.H., 2023. Silicon amendments reduce aphid numbers and improve yield of aphid-resistant and susceptible wheat cultivars in a dose-dependent manner. **Crop Protec**, v. 172, p. 106 - 296. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106296>

OLIVEIRA, C.S.; MACIEL, G.M.; SIQUIEROLI, A, C, S.; GOMES, D.A.; MARTINS, M.P.C.; FINZI, R.R. Selection of F2RC1 saladette-type dwarf tomato plant populations for fruit quality and whitefly resistance. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.26, n.1, p.28-35. 2022. DOI <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p28-35>

OLIVEIRA, T. A., SILVA, R. P., SILVA, B. L., SANTOS, F. F., CAVALCANTE, L. S., SILVA, M. C. Caracterização química, fisiológica e pós-colheita de plantas de tomateiro adubadas com silício via solo e foliar. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n.12, p.95097-95105, 2020. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-119>

PERES, L E. P. Metabolismo secundário. **Escola Superior de Agronomia**, 2004.

PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDORFER, G.H. Behavior of different silicon sources in the soil and in tomato crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.101-108, 2003. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100011>

PERDOMO, D. N.; RODRIGUES, A. A. R.; SAMPAIO, M. V.; CELOTTO, F. J.; MENDES, S. M.; PEREIRA, H. S.; LIMA, D. T.; REZENDE, G. F. Increase in foliar silicon content reduces defoliation by *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 81, p. 1-14, 2022. DOI <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210147>

PICANÇO, M. C. LEITE, G. L. D., GUEDES, R. N. C., SILVA, E. A. Yield loss in trellised tomato affected by insecticidal sprays and plant spacing. **Crop Protection**, v. 17, p. 447- 452, 1998. DOI [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00040-4](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00040-4)

PILON, A. C, SELEGATO M. D., FERNANDES, P R., BUENOA, P.C.P., PINHOA, D. R., NETOF, F. C., FREIREG, R. T., GAMBOAB, I. C., BOLZANIB, V. S., LOPESA, N. P. Metabolômica de Plantas: Métodos e Desafios. **Quim. Nova**, v. 43, n. 3, p. 329-354, 2020. DOI <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170499>

POTT, D. M., OSORI, S., VALLARINO, J. G., From Central to Specialized Metabolism: An Overview of Some Secondary Compounds Derived From the Primary Metabolism for Their Role in Conferring Nutritional and Organoleptic Characteristics to Fruit. Departamento de Biología Molecular y Bioquímica, Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea “La Mayora”, **Universidad de Málaga – Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IHSM-UMA-CSIC)**, Málaga, v. 10, 2019.

RAHMAN, A.; WALLIS, C. M.; UDDIN, W. Silicon-induced systemic defense responses in perennial ryegrass against infection by *Magnaporthe oryzae*. *Phytopathology*, Saint Paul, USA, v. 105, n. 6, p. 748-757, 2015. DOI <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-14-0378-R>

RESENDE, J. T. V. MALUF, W. R., FARIA, M. V., PFANN, A. Z., IR NASCIMENTO, I.R. Acylsugars in tomato leaflets confer resistance to the South American tomato pinworm, *Tuta absoluta* Meyr. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 1, p. 20–25, 2006. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000100004>

RESENDE, J.T.V. de; MALUF, W.R.; CARDOSO, M. das G.; NELSON, D.L.; FARIA, M.V. Inheritance of acylsugar contents in tomatoes derived from an interspecific cross with the wild tomato *Lycopersicon pennellii* and their effect on spider mite repellence. **Genetics and Molecular Research**, v.1, p.106-116, 2002b.

REYNOLDS, O.L.; KEEPING, M.G.; MEYER, J.H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: A review. **Ann. Appl. Biol**, v. 155, p. 171–186, 2009. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x>

- REYNOLDS OL, PADULA MP, ZENG R, GURR GM. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthro pod pests in agriculture. **Front Plant Sci**, v. 7, p. 1–13, 2016. DOI <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00744>
- SAITO, K., MATSUDA, F. A. **Rev. Plant Biol**, v, 61, p, 463 – 489, 2010. DOI <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.043008.092035>
- SANTANA, F.M., RIBEIRO, S. G., MOITA, A. W. MOREIRA JR, D. J., GIORDANO, L. B., **Sources of resistance in *Lycopersicon* spp. to a bipartite whiteflytransmitted geminivirus from Brazil.** **Euphytica**, v. 122, p. 45–51, 2018.
- SAMPAIO, M. V., FRANCO, G. M., LIMA, D. T., OLIVEIRA, A. R. C., SILVA, P. F., SANTOS, A. L. Z., RESENDE, A. V. M., SANTOS, F. A. A., GIRÃO, L.V.C., 2006. Plant Silicon Amendment Does Not Reduce Population Growth of Schizaphis graminum or Host Quality for the Parasitoid Lysiphlebus testaceipes. **Neotrop Entomol** v. 49, p, 745–757, 2020. DOI <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00775-w>
- SANTOS, M. C. Efeito de diferentes doses de silício, nitrogênio e potássio na incidência da traça-do-tomateiro, pinta-preta e produtividade do tomate industrial. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Brasília: UNB, p. 74, 2008.
- SANTOS, M. C., JUNQUEIRA, A. M. R., SÁ, V. G. M., ZANÚNCIO, J. C., BAUCH, M. A., SERRA, J. E. Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de tuta absoluta (meyrick) (Lepidoptera: gelechiidae) **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável** (RBAS), v.2, n.1, p.76-88, 2012.
- SEVERSON, R.F.; ARRENDALE, R.F.; CHORTYK, O.T.; GREEN, C.R.; THOME, F.A.; STEWART, J.L.; JOHNSON, A.W. Isolation and characterization of the sucrose esters of the cuticular waxes of green tobacco leaf. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.33, p.870-875, 1985. DOI <https://doi.org/10.1021/jf00065a026>
- SHINOZAKI, Y.; MATSUZAKI, T.; SUHARA, S.; TOBITA, T.; SHIGEMATSU, H.; KOIWAI, A. New types of glycolipids from the surface lipids of *Nicotiana umbratica*. **Agricultural and Biological Chemistry**, v.55, p.751-756, 1991. DOI <https://doi.org/10.1080/00021369.1991.10870633>
- SILVA, A.A.; MALUF, W.R.; MORAES, J.C.; ALVARENGA, R.; COSTA, E.M.R. Resistência a *Myzus persicae* em genótipos de tomateiro com altos teores foliares de aleloquímicos. **Bragantia**, Campinas, v.72, n.2, p.173-179, 2013. DOI <https://doi.org/10.1590/S0006-87052013005000022>
- SILVA, V.F.; MORAES, J.C.; MELO, B.A. Influence of silicon on the development, productivity and infestation by insect pests in potato crops. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.1465- 1469, 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000600016>
- SILVA, A. A., ANDRADE, M. C. A., MALUF, W. R., MORAES, J. C., REZENDE, J. F., Resistance of tomato plant genotypes with high foliar allelochemical contents to the leafminer *Liriomyza trifolii*. **PLANT SCIENCE / SCIENTIFIC ARTICLE**, v. 84, p. 1-6, 2017. DOI <https://doi.org/10.1590/1808-1657000892015>
- SILVA, K.F.A.S., MICHEREFF-FILHO, M., FONSECA, M. E. N., SILVA-FILHO, J. G., TEXEIRA, A. C. A., MOITA, A. W., TORRES, J. B., FERNADEZ- MUNÕZ, R., BOITEUX, L. S. Resistance to *Bemisia tabaci* biotype B of *Solanum pimpinellifolium*

is associated with higher densities of type IV glandular trichomes and acylsugar accumulation. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 151, p. 218-230, 2014. DOI <https://doi.org/10.1111/eea.12189>

SILVA, A.A., Andrade, M. C., Carvalho, R. C., Neiva, I. P., Santos, D.C., Maluf, W. R. Resistência à *Helicoverpa armigera* em genótipos de tomateiro obtidos do cruzamento de *Solanum lycopersicum* com *Solanum galapagense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 801-808, 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000700002>

SUN, X.R.; LIU, L.; ZHI, X.N.; BAI, J.R.; CUI, Y.N.; SHU, J.S.; LI, J.M. Genetic analysis of tomato internode length via mixed major gene plus polygene inheritance model. **Scientia Horticulturae Amsterdam**, v. 246, p. 759-764, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.044>.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: artmed 3 ed. 2004

VENDEMIATTI, E., ZSOG" ON, " A., SILVA, GFF.E., DE JESUS, F.A., CUTRI, L., FIGUEIREDO, C.R.F., TANAKA, F.A.O., NOGUEIRA, F.T.S., Peres, L.E.P., Loss of type-IV glandular trichomes is a heterochronic trait in tomato and can be reverted by promoting juvenility. **Plant Sci**, v. 259, p. 35–47. 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.03.006>

WAR A. R, PAULRAJ M. G, WAR M. Y. Ignacimuthu S. Jasmonic acid- mediated induced resistance in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) against *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). **J Plant Growth Regul**, v. 30, p. 512-23, 2011. DOI <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9213-0>.

WAGNER, G. J.; WANG, E.; SHEPHERD, R. W. New approaches for studying and exploiting an old protuberance, the plant trichome. **Annals of Botany**, London, v. 93, p. 3-11, 2004. DOI <https://doi.org/10.1093/aob/mch011>

WANG, H.S.; WANG, C.Y.; PEI-PEI, F.; BIN-FU, B.; TAO, L.; ZHU-JUN, Z. Identification of two cucumber putative silicon transporter genes in *Cucumis sativus*. **J. Plant Growth Regul.**, v.34, p.332–338, 2015. DOI <https://doi.org/10.1007/s00344-014-9466-5>

WANG, M.; GAO, L.; DONG, S.; SUN. Y.; SHEN, Q.; GUO, S. Role of silicon on plant– pathogen interactions. **Frontiers in Plant Science, Lausanne, Switzerland**, v. 8, p. 701, 2017. DOI <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00701>

WEINHOLD, A., BALDWIN, I.T., Trichome-derived O-acyl sugars are a first meal for caterpillars that tags them for predation. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A**, v. 108, p. 7855–7859, 2011. DOI <https://doi.org/10.1073/pnas.1101306108>

WENNECK, G. S.; SAATH, R.; REZENDE, R. Silicon accumulation in cauliflower grown in a protected environment with different water availability conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, p. 23- 92, 2022. DOI <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2022.v57.02392>

WENNECK, G. S. SAATH, R., REZENDE, R., ANDREAN, A. F. B. A., SANTI, D. C., Agronomic response of cauliflower to the addition of silicon to the soil under water

deficit. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, p. 66 - 98, 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5166908>

XIAO, Z., FAN, N., ZHU, W., QIAN, H., YAN, X., WANG, Z., & RASMANN, S. Silicon nanodots increase plant resistance against herbivores by simultaneously activating physical and chemical defenses. **ACS Nano**, v. 17, p. 3107–3118, 2023. DOI <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c12070>

Y. HIRABAYASHI, R. MAHENDRAN, S. KOIRALA, **Nature Clim. Change**, v. 3, p. 816–820, 2013. DOI <https://doi.org/10.1038/nclimate1911>

YAMAJI, N.; MITATNI, N.; MA, J.F. A transporter regulating silicon distribution in rice shoots. **Plant Cell**, v.20, p.1381–1389, 2008. DOI <https://doi.org/10.1105/tpc.108.059311>

YE, M.; SONG, Y.Y.; LONG, J.; WANG, R.L.; BAERON, S.R.; PAN, Z.Q.; SALZMAN, K.Z.; XIE, J.F.; CAI, K.Z.; LUO, S.M.; Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 110, p. 3631–3639, 2013. DOI <https://doi.org/10.1073/pnas.1305848110>

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Histochemistry of Si in rice tissues. III. The presence of cuticle–silica double layer in the epidermal tissue. **Soil Sci. Plant Nutr**, v. 8, p. 1–51, 1962. DOI <https://doi.org/10.1080/00380768.1962.10430982>

ZHANG, M., LIANG, Y., AND CHU, G. Applying silicate fertilizer increases both yield and quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) grown on calcareous grey desert soil. **Sci. Hortic**, v. 225, p. 757–763. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.019>