



**RAFAEL AZEVEDO ARRUDA DE ABREU**

**SILÍCIO NO CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE, ANATOMIA  
E BIOQUÍMICA DO MARACUJAZEIRO, E INDUÇÃO DE  
RESISTÊNCIA A *Dione juno juno* (LEPIDOPTERA:  
NYMPHALIDAE)**

**LAVRAS-MG  
2018**

**RAFAEL AZEVEDO ARRUDA DE ABREU**

**SILÍCIO NO CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE, ANATOMIA E BIOQUÍMICA DO  
MARACUJAZEIRO, E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA A *Dione juno juno*  
(LEPIDOPTERA: NYMPHALIDAE)**

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

Profa. Dra. Leila Aparecida Salles Pio  
Orientadora

Profa. Dra. Franscinely Aparecida de Assis  
Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2018**

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

Abreu, Rafael Azevedo Arruda de.

Silício no crescimento, fotossíntese, anatomia e bioquímica do maracujazeiro, e indução de resistência a *Dione juno juno* (Lepidoptera: Nymphalidae) / Rafael Azevedo Arruda de Abreu. - 2018.

76 p. : il.

Orientador(a): Leila Aparecida Salles Pio.

.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. *Passiflora edulis* f *flavicarpa* Deg. 2. silicato de cálcio. 3. Agrisil. I. Pio, Leila Aparecida Salles. . II. Título.

**RAFAEL AZEVEDO ARRUDA DE ABREU**

**SILÍCIO NO CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE, ANATOMIA E BIOQUÍMICA DO  
MARACUJAZEIRO, E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA A *Dione juno juno*  
(LEPIDOPTERA: NYMPHALIDAE)**

**SILICON IN THE GROWTH, PHOTOSYNTHESIS, ANATOMY AND  
BIOCHEMISTRY OF PASSION FRUIT PLANT, AND INDUCTION OF  
RESISTANCE TO *Dione juno juno* (LEPIDOPTERA: NYMPHALIDAE)**

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

APROVADA em 31 de outubro de 2018.

Dr. Ângelo Albérico Alvarenga	EPAMIG
Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza	UFLA
Dr. Guilherme Lopes	UFLA
Dr. Rafael Pio	UFLA

Profa. Dra. Leila Aparecida Salles Pio  
Orientadora

Profa. Dra. Franscinely Aparecida de Assis  
Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2018**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Aos meus pais, Nildo Antônio Arruda de Abreu e Marta de Bastos Azevedo Abreu, que sempre me incentivaram e me deram condições de avançar nos estudos.

À Universidade Federal de Lavras - UFLA, instituição de excelência em Ciências Agrárias, na qual me graduei em Agronomia e realizei meu mestrado, em destaque, ao Departamento de Agricultura e Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o doutorado.

À minha orientadora Dra. Leila Aparecida Salles Pio, pessoa de educação ímpar, sempre disponível e atenciosa, sou grato por ter sido seu orientado no mestrado e doutorado.

À minha coorientadora Dra. Franscinely Aparecida de Assis, pela amizade, dedicação e contribuição dada à minha tese.

Ao Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza e à Dra. Amanda Maria Nascimento, pela contribuição e ensinamentos junto ao Laboratório Resistência de Plantas a Insetos, do Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Ângelo Albérico Alvarenga, Dr. Guilherme Lopes e Dr. Rafael Pio, que gentilmente aceitaram o convite para a avaliação deste trabalho.

Ao Dr. Anderson Oliveira Latini, Dr. Diego de Sousa Pereira, Dra. Ester Alice Ferreira e Ma. Mariane Aparecida Rodrigues, pela paciência e contribuição dada à minha tese.

A todos os meus amigos do Pomar, em especial ao Arnaldo, Ellison, Evaldo, Leonardo e 'Seu' Dedé, pela ajuda e risadas compartilhadas.

À Marli, secretária de Pós-graduação/Fitotecnia-UFLA, pela paciência e presteza em todos os momentos.

Aos meus amigos e colegas do programa de pós-graduação da UFLA, em especial ao Douglas Correa e Douglas Goulart, pela amizade verdadeira nos bons momentos, e também nos momentos de dificuldade.

Aos amigos de longa data, que mesmo não participando da minha vida acadêmica, são de grande importância na minha vida pessoal.

A todos os meus tios e primos, que são de valor inestimável para mim.

À Natália Ferreira Suárez, pela ajuda e companheirismo em todos os momentos, uma pessoa especial que a vida me deu.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

O Brasil é um dos principais centros de origem de espécies do gênero *Passiflora*, além de ser o maior produtor mundial de maracujá, porém, essa cultura é severamente atacada pela lagarta desfolhadora *Dione juno juno*, surgindo a necessidade de novos métodos de controle, como por exemplo, através da adubação com silício. O silício não é considerado um elemento essencial para as plantas, mas é um elemento agronomicamente benéfico pelos vários efeitos positivos que proporciona, como por exemplo, no desenvolvimento, capacidade fotossintética, anatomia, e até aumentando a resistência a pragas e doenças. Objetivou-se avaliar aspectos fitotécnicos, morfológicos e bioquímicos em plantas de *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. sob doses de silicato de cálcio ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) (Experimento 1) e AgriSil® ( $\text{SiO}_2$ ) (Experimento 2), e o efeito sobre a praga-chave *D. juno juno*. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com 5 tratamentos para cada experimento (silicato de cálcio via solo nas doses de 0; 2,5; 5; 7,5 e 10 g Si.vaso<sup>-1</sup> e Agrisil foliar com 0, 2, 4, 8 e 16 g.L<sup>-1</sup>) e 8 repetições, cada parcela constituída por um vaso. Foram avaliadas as variáveis fitotécnicas, teor de clorofila, teor de silício, medidas anatômicas, fenólicos totais e atividade enzimática. Em relação ao inseto foram avaliados consumo e preferência alimentar, além de variáveis no desenvolvimento dos indivíduos. As doses de 5,0 e 7,5 g Si.vaso<sup>-1</sup> via solo e 8 g.L<sup>-1</sup> via foliar proporcionaram os melhores efeitos em relação a planta. Já em relação às variáveis entomológicas, as doses de 5,0; 7,5 e 10 g Si.vaso<sup>-1</sup> via solo proporcionaram os melhores resultados no controle da praga. Concluiu-se que, a forma de admissão do elemento é preponderante para as variáveis analisadas, ambas as fontes proporcionam efeitos benéficos ao maracujazeiro-azedo, enquanto que, no combate ao inseto, apenas a adubação via solo se mostrou eficiente.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Adubação. Silicato de cálcio. Foliar.

## ABSTRACT

Brazil is one of the main origin center of species of the genus *Passiflora*, besides being the largest world production of passion fruit, however this crop is severely attacked by the *Dione juno juno* leafhopper caterpillar, and the need for new control methods, such as silicon fertilization. Silicon is not considered an essential element for plants, but is an agronomically beneficial element because of the various positive effects it provides, such as in development, photosynthetic capacity, anatomy and even increasing resistance to pests and diseases. The objective was to evaluate phytotechnical, morphological and biochemical aspects in *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. under doses of calcium silicate ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) (Experiment 1) and AgriSil® ( $\text{SiO}_2$ ) (Experiment 2), and the effect on the key pest *D. juno juno*. The experimental design was a completely randomized design with 5 treatments for each experiment (calcium silicate via soil at doses of 0; 2,5; 5; 7,5 and 10 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  and Agrisil foliar with 0, 2, 4, 8 and 16 g  $\text{L}^{-1}$ ) and 8 replicates, each portion consisting of a pot. Phytotechnical variables, chlorophyll content, silicon content, anatomical measurements, total phenolics and enzymatic activity were evaluated. In relation to the insect, consumption and food preference were evaluated, besides variables in the development of individuals. The doses of 5,0 and 7,5 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  by the soil and 8 g  $\text{L}^{-1}$  leaf spray provided the best effects in relation to the plant. In relation to the entomological variables, doses of 5,0; 7,5 and 10 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  by the soil provided the best results in pest control. It is concluded that the intake form of the element is preponderant for the analyzed variables, both sources provide beneficial effects to the passion fruit, while in the insect combat only the fertilization by the soil was efficient.

**Keywords:** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Fertilization. Calcium silicate. Leaf spray.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Teor de silício em parte aérea de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%..... 36
- Figura 2 - Teor de silício em parte aérea de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras representam intervalos de confiança de 95%. ..... 37
- Figura 3 - Relação diâmetro polar/diâmetro equatorial (DP/DE) de estômatos da face abaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%..... 38
- Figura 4 - Número de estômatos/mm<sup>2</sup> da face abaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. 39
- Figura 5 - Relação diâmetro polar/diâmetro equatorial (DP/DE) de estômatos da face abaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. ..... 40
- Figura 6 - Largura da lâmina foliar de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. ..... 41
- Figura 7 - Espessura da epiderme adaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. ..... 41
- Figura 8 - Espessura do parênquima esponjoso de folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%..... 42
- Figura 9 - Espessura do parênquima paliçádico de folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%..... 43
- Figura 10 - Espessura da epiderme adaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. ..... 44
- Figura 11 - Espessura do parênquima paliçádico de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. ..... 45
- Figura 12 - Espessura do parênquima esponjoso de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. ..... 45
- Figura 13 - Teor de fenólicos totais de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. ..... 46

Figura 14 - Atividade enzimática da PAL em folhas de <i>P. edulis</i> em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. .....	48
Figura 15 - Atividade enzimática da POX em folhas de <i>P. edulis</i> em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. .....	48
Figura 16 - Atividade enzimática da POX em folhas de <i>P. edulis</i> em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. .....	49
Figura 17 - Ganho de peso das lagartas alimentadas com discos foliares de <i>P. edulis</i> adubados com doses de silicato de cálcio, no teste sem chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.....	62
Figura 18 - Área foliar consumida de <i>P. edulis</i> , adubados com doses de Agrisil, teste sem chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. .....	63
Figura 19 - Ganho de peso das lagartas alimentadas com discos foliares de <i>P. edulis</i> adubados com doses de Agrisil, no teste sem chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. .....	64
Figura 20 - Número de lagartas presentes nos discos foliares dos tratamentos de adubação com silicato de cálcio, 6 horas após o início do teste com chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. .....	65
Figura 21 - Número de lagartas presentes nos discos foliares dos tratamentos de adubação com silicato de cálcio, 30 horas após o início do teste com chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. .....	66
Figura 22 - Número de lagartas presentes nos discos foliares dos tratamentos de adubação com Silicato de Cálcio, 48 horas após o início do teste com chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95% .....	67
Figura 23 - Área foliar consumida de <i>P. edulis</i> , adubados com diferentes doses de silicato de cálcio, teste com chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. .....	67
Figura 24 - Tamanho final de adultos de <i>D. juno juno</i> , cujas lagartas foram alimentadas de <i>P. edulis</i> adubados com doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.....	69

Figura 25 - Envergadura final de adultos de <i>D. juno juno</i> , cujas lagartas foram alimentadas de <i>P. edulis</i> adubados com doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%. .....	70
Figura 26 - Longevidade de adultos de <i>D. juno juno</i> , cujas lagartas foram alimentadas de <i>P. edulis</i> adubados com doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.....	71

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Relevância econômica do maracujazeiro na fruticultura brasileira</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>A praga-chave do maracujazeiro: <i>Dione juno juno</i></b> .....	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Controle da <i>D. juno juno</i></b> .....	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>Silício nas plantas</b> .....	<b>18</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>21</b>
	<b>CAPÍTULO 2 Silício no crescimento, fotossíntese, anatomia e bioquímica do maracujazeiro-azedo</b> .....	<b>25</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>Instalação dos experimentos</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2</b>	<b>Avaliações</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Medidas fitotécnicas</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Teor de clorofila</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Teor de silício</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Análises anatômicas</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Fenólicos totais</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Atividade enzimática</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>52</b>
	<b>CAPÍTULO 3 Silício na preferência alimentar e na biologia de <i>Dione juno juno</i></b> <b>.....</b>	<b>56</b>
	<b>(Lepidoptera: Nymphalidae) no maracujazeiro-azedo</b> .....	<b>56</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>58</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>59</b>
<b>2.1</b>	<b>Instalação dos experimentos</b> .....	<b>59</b>
<b>2.2</b>	<b>Bioensaios com <i>D. juno juno</i></b> .....	<b>59</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Teste sem chance de escolha</b> .....	<b>59</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Teste com chance de escolha</b> .....	<b>60</b>

2.2.3	Silício na biologia de <i>D. juno juno</i> .....	60
2.3	Análises estatísticas .....	61
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	62
4	<b>CONCLUSÕES</b> .....	73
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	74

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil destaca-se como maior produtor mundial de maracujá, com produção aproximada de 554 mil toneladas de frutos, produzidos em 41,2 mil hectares (IBGE, 2018).

Cerca de 95% da produção desta frutífera é oriunda do maracujazeiro-azedo, também conhecido como maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) devido a qualidade dos seus frutos, vigor, produtividade e rendimento de polpa (MELETTI; BRÜCKNER, 2001). O país também é um dos principais centros de origem de espécies do gênero *Passiflora*, apresentando grande potencial para efetuar seleção de plantas para atender ao mercado de fruta fresca, suco concentrado, bem como exploração como plantas ornamentais ou medicinais.

Entretanto, existem alguns fatores que podem ameaçar a expansão e reduzir a produtividade do maracujazeiro-azedo, comprometendo o abastecimento dos mercados consumidores, como a incidência de insetos-praga.

As pragas que incidem sobre o maracujazeiro provocam prejuízos econômicos expressivos e acarretam maior utilização de produtos fitossanitários, neste contexto, tem-se a lagarta *Dione juno juno* (Cramer, 1779) (Lepidoptera: Nymphalidae), considerada umas das pragas-chave dessa frutífera, pois provoca o desfolhamento completo das plantas, atingindo o nível de controle todos os anos.

O método de controle mais utilizado é o químico, mediante a utilização de inseticidas sintéticos dos grupos das benzoilureias, tiocarbamatos, piretroides, análogos dos pirazóis e oxadiazinas, registrados no Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2018). Porém, a falta de seletividade de muitos inseticidas pode afetar a densidade populacional de insetos polinizadores, como as mamangavas, comprometendo a produção do maracujazeiro.

Esse fato, associado à consciência ecológica atual e à necessidade de redução dos custos de produção, impõe uma série de restrições ao método, exigindo, portanto, que se ampliem as pesquisas sobre métodos alternativos de controle, a exemplo do emprego do silício.

O silício (Si) é o segundo elemento em maior abundância na crosta terrestre, atrás somente do oxigênio (EPSTEIN, 1999). Não é considerado parte do grupo de elementos essenciais para o crescimento das plantas, porém, sua ação benéfica tem sido associada a diversos efeitos indiretos, como o aumento na eficiência da capacidade fotossintética, redução

da transpiração, aumento da resistência mecânica das células, na resistência a insetos e doenças (seja pela promoção de uma barreira mecânica, seja pelo acúmulo de compostos fenólicos, que impedem a infecção por patógenos e diminuem a palatabilidade aos insetos-praga), na redução da acumulação tóxica de Manganês (Mn), Ferro (Fe), Alumínio (Al) e outros metais pesados, e aumento na absorção do Fósforo (P), pois o Si compete pelos mesmos sítios de adsorção de P na fração mineral do solo.

Mediante a necessidade de combater a praga-chave do maracujazeiro de forma sustentável, sem consequências indesejáveis à planta, objetivou-se neste trabalho avaliar fontes e doses de silício no desempenho fitotécnico, anatômico, enzimático e de compostos fenólicos de plantas de maracujazeiro-azedo, bem como seus efeitos sobre *D. juno juno*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Relevância econômica do maracujazeiro na fruticultura brasileira

A fruticultura brasileira apresenta condições favoráveis para produzir e exportar mais frutas ao longo do ano. A produção foi estimada em 43,5 milhões de toneladas para 2017, abaixo das 44,8 milhões de toneladas do ano anterior, segundo a Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS). A produção de frutas poderá aumentar 5% em 2018, beneficiada pelo clima favorável. Portanto, o volume total de frutas poderá chegar a 45,6 milhões de toneladas (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2018).

O maracujazeiro tem ocupado uma posição de destaque na fruticultura brasileira, mesmo quando comparado a outras frutas tropicais com maior tradição de consumo (MELETTI; OLIVEIRA; RUGGIERO, 2010). Foi a partir do final da década de 60 que ocorreu grande expansão do cultivo desta frutífera no Brasil. Até o início da década de 70, o país não constava entre os principais produtores (MELETTI, 1998).

O Brasil ocupa a primeira posição em termos de produção mundial de maracujá, com cultivos em quase todos os Estados da federação (AGRIANUAL, 2018). Entretanto, a produtividade desta frutífera continua baixa, pouco mais de  $13,49 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 2017 (IBGE, 2018), em comparação com o potencial produtivo da cultura que pode exceder  $40 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (FREITAS et al., 2011). Esse resultado deve-se, entre outros fatores, a problemas fitossanitários. Em relação ao mercado, em 2017, o valor da produção foi pouco superior a R\$ 870,8 milhões (IBGE, 2018).

Apesar do custo total inicial elevado, aproximadamente R\$20.500,00  $\text{ha}^{-1}$  (HAFLE et al., 2009), o pequeno produtor encontra na cultura do maracujazeiro, uma base de sustentação para a sua família e sua propriedade, e uma opção técnica economicamente viável, o que o leva a contar com produção o ano inteiro. Foi assim que a cultura se desenvolveu e, ainda hoje, a agricultura familiar tem sido responsável pela expansão dos pomares comerciais, desempenhando uma função social importante e garantindo um nível de emprego razoável no campo e na indústria (MELETTI, 2011).



## 2.2 A praga-chave do maracujazeiro: *Dione juno juno*

A lagarta do maracujazeiro, *Dione juno juno* (Cramer, 1779), pertence a ordem Lepidoptera, família Nymphalidae, subfamília Nymphalinae, tribo Heliconiini e gênero *Dione* (BROWN JR., 1992).

Existem várias subespécies de *Dione juno*, dentre elas tem-se: *D. juno juno*, *D. juno huascuma* (Reakirt, 1866), *D. juno andicola* (Bates, 1864), *D. juno suffumata* (BROWN JR.; MIELKE, 1972) e *D. juno miraculosa* (Hering, 1926); EMSLEY, 1963; BROWN JR.; MIELKE, 1972; BROWN JR., 1975).

De acordo com Brown Jr. (1981), na região da Califórnia até a Argentina, se concentra o maior número de espécies desta família, sendo observadas cerca de 46 espécies. No Brasil, Brown Jr. (1992) relacionou 44 espécies pertencentes a tribo Heliconiini. Dentre essas espécies encontra-se a *D. juno juno*, considerada a mais importante (FANCELLI, 1998), com ocorrência em todos os estados brasileiros (TEIXEIRA, 1994).

O adulto de *D. juno juno* é uma borboleta com cerca de 60 mm de envergadura, apresentando as asas de coloração alaranjada e as margens externas com faixas pretas. As fêmeas, usualmente efetuam as posturas em grupos que variam de 70 a 150 ovos, na face abaxial das folhas. Quanto à coloração, os ovos são inicialmente amarelados e quando atingem o final do período de incubação apresentam-se marrom-avermelhados. As lagartas vivem agregadas (hábito gregário), quando recém-eclodidas possuem aproximadamente 1,5 mm de comprimento de coloração amarelada, mas ao atingirem o máximo desenvolvimento chegam a medir entre 30 e 35 mm de comprimento assumindo coloração pardo-escura; cabeça preta e corpo recoberto por espinhos. As lagartas passam por 4 a 5 ecdises (GALLO et al., 2002).

As lagartas apresentam hábito gregário até o 5º instar e quando estão próximas de transformarem-se em pupa. Dispersam. em busca de local para se fixarem por meio do cremaster em algum suporte (galho, estaca, mourão etc.). As pupas são de coloração cinza-avermelhada e medem de 20 a 25 mm de comprimento (BOARETTO; BRANDÃO; SÃO JOÃO, 1994).

O ciclo evolutivo de ovo a adulto dura em torno de 45 dias no inverno, sendo que o período de incubação dos ovos é de 7 dias, a fase de lagarta cerca de 26 dias e a de crisálida 12 dias. (GALLO et al., 2002; TEIXEIRA, 1994).

Na cultura do maracujazeiro, a ocorrência de insetos-praga, como lagartas desfolhadoras (*D. juno juno* e *Agraulis vanillae vanillae* (Linnaeus, 1758)), moscas-das-frutas (*Anastrepha pseudoparallela* (LOEW, 1873), *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae), *Neosilba pendula* (Bezzi) e *N. zadolicha* McAlpine & Steyskal (Diptera: Lonchaeidae) e moscas que atacam os botões florais como *Dasiops inedulis* Steyskal (Diptera: Lonchaeidae)), percevejos (*Holhymenia clavigera* (Herbst, 1784)), *Diactor bilineatus* (Fabricius, 1803) e *Leptoglossus gonagra* (Fabricius, 1775) (Hemiptera: Coreidae)), e abelha irapuã (*Trigona spinipes* (Fabricius, 1793)) (Hymenoptera: Apidae), broca-do-maracujazeiro (*Philonis crucifer* (Brèthes) (Coleoptera: Curculionidae)), são considerados fatores limitantes para a produção, causando danos consideráveis à cultura, exigindo atenção por parte dos fruticultores (RUGGIERO et al., 1996).

Dentre essas pragas, destaca-se a lagarta-do-maracujá, *D. juno juno*, considerada praga-chave da cultura, em função das injúrias e danos ocasionados, além da frequência em que ocorre (FANCELLI, 1998).

### 2.3 Controle da *D. juno juno*

Segundo levantamento realizado pelo IBGE, praticamente 24% (6,7 milhões de toneladas) das 28,3 milhões de toneladas de produtos fitossanitários utilizados no ano de 2014 na Bahia, estado com maior produção de maracujá do país, foram de inseticidas direcionados ao controle das mais variadas pragas nos diversos cultivos agrícolas (IBGE, 2018).

O método de controle químico é o mais utilizado pelos agricultores para combater a lagarta desfolhadora *D. juno juno*, considerada praga-chave na cultura do maracujazeiro. Existe grande diversidade de ingredientes ativos registrados junto ao MAPA para controle da *D. juno juno*, tais como teflubenzurom (benzoilureia), cloridrato de cartape (bistiocarbamato), lambda-cialotrina (piretroide), clorfenapir (análogo do pirazol), indoxacarbe (oxadiazina) (BRASIL, 2018).

Esse método de controle tem sido amplamente utilizado, pois reduz de maneira satisfatória a população da praga e é de fácil aplicação (BOIÇA JR. et al., 2005). No entanto, sua utilização se torna indesejável por razões econômicas e problemas ambientais (BOIÇA JR. et al. 2013), tais como risco aos inimigos naturais do inseto-praga e polinizadores naturais da cultura. De acordo com Silva et al. (2012) o uso harmonioso de táticas e estratégias para o

controle de insetos pragas é bastante estudado e se constitui na essência do Manejo Integrado de Pragas (MIP).

Nesse contexto, alternativas podem ser usadas em conjunto para reduzir o uso de inseticidas sintéticos, tais como, uso de genótipos resistentes (*P. alata*, *P. foetida* e *P. serrato-digitata*), sendo Boiça Júnior (1994) e Boiça Júnior, Lara e Oliveira (1999) os pioneiros em relação a resistência de maracujazeiro à *D. juno juno*, uso de inseticidas derivados de plantas, como da *Azadirachta indica*, conhecida como nim (KAMARAJ, 2018), inseticidas biológicos, como o *Bacillus thuringiensis* (Bt), que controla lagartas, com registro de uso na cultura do maracujazeiro (AGROFIT, 2018), controle mecânico, que se trata da eliminação manual das lagartas ou ovos na página inferior das folhas (GALLO et al., 2002).

## 2.4 Silício nas plantas

O silício não é considerado um elemento essencial para as plantas. Entretanto, Epstein e Bloom (2004) ressaltam que, plantas que crescem em ambiente rico neste elemento diferem daquelas presentes em ambientes deficientes. Além disso, o silício pode ser considerado um elemento agronomicamente benéfico pelos vários efeitos positivos que proporciona às plantas.

Este elemento é o segundo em maior abundância na crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio (EPSTEIN, 1999).

O silício é absorvido pelas raízes na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), uma molécula de carga neutra e, nessa mesma forma, é transportado até a parte aérea, pelo xilema. Nas folhas, a perda de água por transpiração faz com que o ácido monossilícico se concentre e polimerize em sílica ( $SiO_2$ ), depositando-se nos diferentes tecidos vegetais (MA; YAMAJI, 2006). O transporte de silício a longa distância, da raiz até a parte aérea, é realizado essencialmente via apoplasto. O transporte de silício nas paredes celulares e espaços intercelulares para o lúmen das células e citosol, envolve difusão e fluxo de massa (RAVEN, 2001).

A absorção de silício está relacionada a alguma forma de defesa, seja ela contra estresse biótico ou abiótico. Assim, as plantas absorvem mais desse elemento nestas condições e, com isso, resistem melhor a esse estresse (DALLAGNOL et al., 2009). A concentração de sílica é maior na parte aérea que na raiz e é maior nas folhas velhas em relação as folhas novas (WIESE; NIKOLIC; ROMHELD, 2007), em algumas culturas.

O conteúdo de silício nas plantas varia de 0,1% a 10% em matéria seca, concentrando-se nos tecidos de suporte do caule e das folhas, mas pode ser encontrado também em pequenas quantidades nos grãos. Sendo assim, as plantas podem ser classificadas como acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras de silício, e serem avaliadas de acordo com a relação molar Si:Ca encontrada nos tecidos. Nas relações acima de 1,0, as plantas são consideradas acumuladoras, entre 1,0 e 0,5, são consideradas intermediárias, e as menores do que 0,5, não acumuladoras (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001). Há também uma variação genotípica na concentração de Si dentro de cada espécie, embora a variação não seja tão grande quanto a observada entre espécies (HODSON et al., 2005).

Acumula-se nos tecidos de plantas podendo melhorar o desenvolvimento de várias espécies de vegetais, além de proporcionar maior resistência a pragas e doenças, seja pelo desenvolvimento de uma barreira mecânica, seja pelo acúmulo de compostos fenólicos, que impedem a infecção por patógenos e diminuem a palatabilidade aos insetos-praga (GOUSSAIN et al., 2002; TERRY; JOICE, 2004), ou até mesmo servindo como elicitador da atividade enzimática, que desencadeia uma série de reações de proteção das plantas contra agentes externos (GOMES et al., 2005).

Como função estrutural, proporciona mudanças anatômicas nos tecidos, como células epidérmicas com a parede celular mais espessa devido à deposição de sílica nessas estruturas, denominada camada dupla de silício-cutícula (BLAICH; GRUNDHÖFER, 1998), favorecendo a arquitetura das plantas, deixando as folhas mais eretas e aumentando a capacidade fotossintética (KORNDÖRFER et al., 2002).

Várias fontes de silício são usadas para aumentar a resistência de plantas aos herbívoros, sendo que os fertilizantes podem ser aplicados via solo ou via foliar. Os silicatos são as principais fontes empregadas no Brasil e como exemplos têm-se o silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ), silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) e silicato de potássio ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ) (KORNDÖRFER et al., 2002).

Tendo em vista que o método de controle mais empregado pelos agricultores é o químico, e sabendo que os inseticidas afetam os insetos polinizadores, como as mamangavas (GALLO et al., 2002), o silício pode ser utilizado como alternativa para substituir ou diminuir o uso de produtos químicos no controle de pragas, de forma preventiva, como relatado em pulgões na cultura do trigo (COSTA; MORAES; ANTUNES, 2007; GOMES et al., 2005) e em lagartas na cultura do milho (NERI, MORAIS; GAVINO, 2005). Costa e Moraes (2002), em trabalho com sorgo, verificaram que a aplicação de silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) induziu

resistência da planta ao pulgão verde *S. graminum*. Basagli et al. (2003) verificaram que a aplicação de silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) em sorgo, afetou a preferência alimentar do pulgão verde. Goussain et al. (2002) relataram efeito significativo do silício na mortalidade de lagartas do cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*), ao final do segundo instar, alimentadas com folhas de plantas que receberam este mineral. Freitas, Junqueira e Michereff Filho (2012) constataram que a utilização do silício na superfície das folhas interfere na preferência alimentar, na mortalidade e na anatomia da mandíbula de lagartas de *P. xylostella*.

## REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. **Agrofit**: consulta aberta 2018. São Paulo: AgraFNP, 2018. p. 440.
- AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2018. Disponível em:  
<[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: ago. 2018.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. **Brazilian Fruite Yearbook 2018**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2018. 88 p. Disponível em:  
<<http://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-da-fruticultura/>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- BASAGLI, M. A. B.; MORAES, J. C.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R. C. R. Effect of sodium silicate on the resistance of wheat plants to green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 659-663, 2003.
- BLAICH, R.; GRUNDHÖFER, H. Silicate incrusts induced by powdery mildew in cell walls of different plant species. **Journal of Plant Diseases and Protection**, Stuttgart, v. 105, p.114-120, 1998.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários 2018. Disponível em:  
<[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 09 ago. 2018.
- BROWN JR., K. S. Borboletas da Serra do Japi: diversidade, habitats, recursos alimentares e variação temporal. In: MORELLATO, L. P. C. **História natural da Serra do Japi**. Campinas: UNICAMP/FAPESP, 1992. p.142-187.
- BROWN JR., K.S. Geographical patterns of evolution in neotropical Lepidoptera. Systematics and derivation of known and new Heliconiini (Nymphalid ae: Nymphalinae). **Journal of Entomology**, London, v. 44, p. 201-242. 1975.
- BROWN JR., K. S.; MIELKE O. H. H. The heliconians of Brazil (Lepidoptera: Nymphalidae). Part II. Introduction and general comments, with a supplementary revision of the tribe. **Zoologica**, New York, v. 57, p. 1-40. 1972.
- BROWN JR., K. S. The biology of Heliconius and related genera. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 26, p. 427-456, 1981.
- BOARETTO, M. A. C.; BRANDÃO, A. L. S.; SÃO JOSÉ, A. R. Pragas do maracujazeiro. In: SÃO JOSÉ, A. R. **Maracujá: produção e mercado**. Vitória da Conquista: UESB, 1994. p. 99-107.

- BOIÇA JÚNIOR., A.L. **Resistência de maracujazeiro (*Passiflora spp.*) a *Dione juno juno* (Cramer, 1779) (Lepidoptera, Nymphalidae) e determinação dos tipos envolvidos.** 1994. 218 p. Tese (Livro-Docência) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.
- BOIÇA JÚNIOR, A.L.; MEDEIROS, C. A. M.; TORRES, A. L.; CHAGAS FILHO, N. R. Efeito de Extratos aquosos de plantas não Desenvolvimento de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) em couve. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 72, p. 45-50, 2005.
- BOIÇA JÚNIOR., A. L.; LARA, F. M.; OLIVEIRA, J. C. Efeito de genótipos de maracujazeiro (*Passiflora spp.*) e da densidade larval na biologia de *D. juno juno* (Cramer) (Lepidoptera: Nymphalidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 28, p. 41-47, 1999.
- BOIÇA JÚNIOR, A. L.; JANINI J. C.; SOUZA, B. H. S.; RODRIGUES, N. E. L. Efeito de cultivares de repolho e doses de extrato aquoso de nim na Alimentação e biologia de *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae). **Bioscience Journal**, v. 29, p. 22-31, 2013.
- COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; ANTUNES, C. S. Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (hemiptera: aphididae) por silício e acibenzolar-s-methyl. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 393-397, 2007.
- COSTA, R. R.; MORAES, J. C. Resistência induzida em sorgo por silicato de sódio e infestação inicial pelo pulgão-verde *Schizaphis graminum*. **Revista Ecosystema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 27, n. 1/2, p. 37-39, 2002.
- DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; MIELLI, M. V.; MA, J. F.; DATNOFF, L. E. Defective active silicon uptake affects some components of rice resistance to brown spot. **Phytopathology**, St. Paul, v. 99, n. 1, p. 116-121, 2009.
- EMSLEY, M. G. A morphological study of imagine Heliconiinae (Lepidoptera: Nymphalidae) with a consideration of the evolutionary relationships within the group. **Zoologica**, New York, v. 48, p. 85-130. 1963.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, n. 1, p. 641-664, 1999.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives.** Davis/Sunderland: Sinauer Associates, 2004.
- FANCELLI, M. Maracujá em foco: as lagartas desfolhadoras do maracujazeiro. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Cruz das Almas, 1998. p. 1. (Circular Técnica, 50).
- FREITAS, J. P. X.; OLIVEIRA, E. J.; CRUZ NETO, A. J.; SANTOS, L. R. Avaliação de recursos genéticos de maracujazeiro-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 9, p. 1013-1020, 2011.

FREITAS, L. M.; JUNQUEIRA, A. M. R.; MICHEREFF FILHO, M. Potencial de uso de silício no manejo integrado da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em plantas de repolho. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 8-13, 2012.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

GOUSSAIN, M. M.; MORAIS, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

HAFLE, O. M.; RAMOS, J. D.; LIMA, L. C. O.; ESTER, A. F.; MELO, P. C. Produtividade e qualidade de frutos do maracujazeiro-amarelo submetido à poda de ramos produtivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 763-770, 2009.

HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annals of botany**, London, v. 96, p. 1027-1046, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2016**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

KAMARAJ, C.; GANDHI, P. R.; ELANGO, G.; KARTHI, S.; RAJAKUMAR G. Novel and environmental friendly approach; Impact of Neem (*Azadirachta indica*) gum nano formulation (NGNF) on *Helicoverpa armigera* (Hub.) and *Spodoptera litura* (Fab.). **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, n. 1, p. 59-69, 2018.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU, GPSi, ICIAG, 2002. 23 p. (Boletim Técnico, 1).

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

MA, J.F.; YAMAJI, N. A silicon transporter in rice. **Nature**, London, v. 440, p. 688-691, 2006.

MELETTI, L. M. M. **Caracterização agronômica de progênies de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* fo. *flavicarpa* O.Deg.)**. 1998. 92 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Piracicaba, 1998.



MELETTI, L. M. M. Avanços na cultura do Maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, p. 83-91, 2011.

MELETTI, L. M. M.; BRÜCKNER, C. H. Melhoramento Genético. In: BRÜCKNER, C.H.; PICANÇO, M.C. **Maracujá**: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001. p. 345-385.

MELETTI, L.M.M.; OLIVEIRA, J.C.; RUGGIERO, C. **Maracujá**. Jaboticabal: FUNEP, 2010. (Série Frutas Nativas, 6.)

NERI, D. K. P.; MORAES, J. C.; GAVINO, M. A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 1167-1174, 2005.

RAVEN, J. A. Silicon transport at the cell and tissue level. In: DATNOFF, L.E. et al. (Ed.). **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. 403 p.

RUGGIERO, C.; SÃO JOSÉ, A. R.; VOLPE, C. A.; OLIVEIRA, J. C.; DURIGAN, J. F.; BAUMGARTNER, J. G.; SILVA, J. R.; NAKAMURA, K.; KAVATI, R.; PEREIRA, V. P. **Maracujá para exportação**: aspectos técnicos da produção. Brasília, 1996, 64 p. (FrupeX, 19).

SILVA, A. G.; SOUZA B. H. S.; RODRIGUES N. E. L.; BOTTEGA D. B.; BOIÇA JÚNIOR A. L. Interação tritrófica: aspectos gerais e suas implicações no manejo integrado de pragas. **Nucleus**, 9:35-48, 2012.

TEIXEIRA, C. G. Cultura. In: ITAL. **Maracujá**: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. Campinas, 1994. p. 1-142.

TERRY, L. A.; JOYCE, D.C. Elicitors induced disease resistance in postharvest horticultural crops: a brief review. **Postharvest Biology Technology**, Amsterdam, v. 32, p. 1-13, 2004.

WIESE, H.; NIKOLIC, M.; ROMHELD, V. Silicon in plant nutrition. In: SATTELMACHER, B.; HORST, W. J. (Ed.). **The apoplast of higher plants**: compartment of storage, transport and reactions. Dordrecht: Springer, 2007. p. 33-47.

## CAPÍTULO 2 Silício no crescimento, fotossíntese, anatomia e bioquímica do maracujazeiro-azedo

### RESUMO

O silício não é considerado um elemento essencial para as plantas, mas é agronomicamente útil no desenvolvimento das plantas, capacidade fotossintética, anatomia e até aumentando a resistência a pragas e doenças. Objetivou-se avaliar alterações estruturais e bioquímicas em plantas de *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. sob doses de silicato de cálcio ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) (Experimento 1) e AgriSil<sup>®</sup> ( $\text{SiO}_2$ ) (Experimento 2). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 tratamentos para cada experimento (silicato de cálcio via solo nas doses de 0; 2,5; 5; 7,5 e 10 g  $\text{Si.vaso}^{-1}$  e AgriSil foliar com 0, 2, 4, 8 e 16 g.L<sup>-1</sup>) e 8 repetições, sendo cada parcela constituída por um vaso. As variáveis analisadas foram altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas, massa fresca e seca, teor de clorofila a, b e total, teor de silício, largura da lâmina foliar, dos parênquimas paliçádicos e esponjoso, das epidermes abaxial e adaxial, densidade e funcionalidade estomática, fenólicos totais e atividade enzimática. Silicato de cálcio na dose de 5; 7,5 e 10 g  $\text{Si.vaso}^{-1}$  e AgriSil nas doses de 4 e 8 g.L<sup>-1</sup> proporcionaram os maiores teores de Si na parte aérea; as doses de 5 e 7,5 g  $\text{Si.vaso}^{-1}$  de silicato de cálcio resultaram em maior funcionalidade dos estômatos; a dose de 16 g.L<sup>-1</sup> de AgriSil promoveu maior densidade estomática e espessura da epiderme adaxial, juntamente com a dose de 8 g.L<sup>-1</sup>, dose essa que também proporcionou maior concentração de fenólicos totais; a atividade enzimática da PAL foi incrementada na dose de 5 g  $\text{Si.vaso}^{-1}$  de silicato de cálcio e a de POX em 2,5 e 7,5 g  $\text{Si.vaso}^{-1}$ , que foi estimulada também pela dose de 2 g.L<sup>-1</sup> de AgriSil. Concluiu-se que a forma de aplicação de silício proporciona efeitos diferentes, ou seja, a forma de admissão do nutriente é preponderante para as variáveis analisadas, porém, os efeitos para o maracujazeiro-azedo são benéficos para ambas as fontes.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Adubação. Silicato de cálcio. AgriSil.

## ABSTRACT

Silicon is not considered an essential element for plants, but is agronomically useful in plant development, photosynthetic capacity, anatomy and even increasing resistance to pests and diseases. The objective of this study was to evaluate structural and biochemical changes in *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. with doses of calcium silicate ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) (Experiment 1) and AgriSil<sup>®</sup> ( $\text{SiO}_2$ ) (Experiment 2). The experimental design was a completely randomized design with 5 treatments for each experiment (calcium silicate via soil at doses of 0; 2,5; 5; 7,5 and 10 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  and Agrisil foliar with 0, 2, 4, 8 and 16 g  $\text{L}^{-1}$ ) and 8 replicates, each portion consisting of a pot. The variables analyzed were: plant height, stem diameter, number of leaves, fresh and dry mass, content of chlorophyll a, b and total, silicon content, leaf blade, palisadic and spongy parenchyma, abaxial and adaxial epidermis width, density and stomatal functionality, total phenolics and enzymatic activity. Calcium silicate at the dose of 5; 7,5 and 10 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  and Agrisil in the doses of 4 and 8 g  $\text{L}^{-1}$  provided the highest levels of Si in the aerial part; the doses of 5 and 7,5 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  of calcium silicate resulted in greater functionality of the stomata; the dose of 16 g  $\text{L}^{-1}$  of Agrisil promoted greater stomatal density and thickness of the adaxial epidermis, together with the dose of 8 g  $\text{L}^{-1}$ , which dose also provided a higher concentration of total phenolics; the enzymatic activity of PAL was increased in the dose of 5 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  of calcium silicate and POX in 2,5 and 7,5 g  $\text{Si.pot}^{-1}$ , which was also stimulated by the dose of 2 g  $\text{L}^{-1}$  of Agrisil. It is concluded that the application of silicon gives different effects, in the other words, the nutrient intake form is preponderant for the variables analyzed, but the effects for passion fruit are beneficial for both sources.

**Keywords:** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg., fertilization, calcium silicate, Agrisil.

## 1 INTRODUÇÃO

O maracujazeiro é uma planta frutífera muito cultivada em países de clima tropical e subtropical, pertencente à família *passifloraceae*, do gênero *passiflora*. Existem mais de 150 espécies de maracujazeiro, no entanto, as mais cultivadas no Brasil e no mundo são: maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), maracujazeiro-roxo (*P. edulis*) e maracujazeiro-doce (*P. alata*), porém, o maracujazeiro-amarelo ou azedo representa a maior parte do volume comercializado mundialmente (KISHORE et al., 2011; PIRES et al., 2011).

O Brasil é o maior produtor e consumidor de maracujá, com cerca de 554.598 toneladas produzidas em 2017 e média de produtividade de 13,49 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (IBGE, 2018). Essa produtividade pode ser incrementada se técnicas de manejo bem feitas forem adotadas pelos produtores.

A adubação frequentemente aumenta as produções agrícolas, devido ao aumento do vigor vegetal (ESPINDULA et al., 2010). Todavia, a prática de adubação exige conhecimentos sobre morfologia da planta, além daquelas relacionadas com a disponibilidade dos nutrientes no solo e o seu comportamento na planta (ALMEIDA; DAMATTO JÚNIOR; LEONEL, 2007).

O efeito benéfico do silício no acúmulo de fitomassa em plantas cultivadas está associado a alterações na estrutura das plantas, permitindo, por exemplo, a melhor captação de energia solar e redução do acamamento. Embora ainda seja desconhecida a função do silício no metabolismo vegetal (EPSTEIN; BLOOM, 2006), postula-se que esse elemento solubilizado na planta tem papel na síntese de moléculas de defesa (MA; YAMAJI, 2008; RODRIGUES et al., 2004). Desse modo, o silício pode estimular o crescimento e a produção vegetal indiretamente, causando aumento no teor de clorofila nos tecidos foliares, alterando a arquitetura das plantas, tornando-as mais eretas e evitando o autossombreamento excessivo, atrasando a senescência, aumentando a rigidez estrutural dos tecidos e protegendo as plantas de agentes bióticos e abióticos (FERRAZ et al., 2014; EPSTEIN; BLOOM, 2006; MA; YAMAJI, 2008; MARSCHNER, 1995).

Sabe-se que a folha é um órgão de grande plasticidade anatômica, e a aplicação de silício pode proporcionar mudanças na anatomia foliar de algumas espécies tais como, bananeira (ASMAR et al., 2015), cafeeiro (BOTELHO et al., 2009), morangueiro (BRAGA et al., 2009), orquídeas (SOARES et al., 2012) e maracujazeiro (COSTA et al., 2018), onde

encontraram resultados interessantes para essa frutífera, tais como, aumento da espessura da epiderme adaxial e da funcionalidade dos estômatos.

Sendo assim, esse trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito do incremento de silício via solo e foliar no crescimento, fotossíntese, anatomia e bioquímica de maracujazeiro-azedo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Instalação dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e nos Laboratórios de Resistência de Plantas e MIP; Central de Sementes, Nutrição Mineral de Plantas, Pós-Colheita nos Departamentos de Entomologia, Agricultura, Ciência do Solo e Ciência dos Alimentos respectivamente, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras (latitude 21°45'S; longitude 45°00'W e altitude 918 m), Minas Gerais, Brasil, no período de setembro/2017 a junho/2018.

A produção de mudas de maracujazeiro foi realizada por meio de semeadura em tubetes plásticos cônicos (30 mm x 120 mm), preenchidos com substrato comercial Tropstrato HA Hortaliças® (Mogi Mirim, São Paulo, Brasil), constituído por casca de pinus, turfa, vermiculita expandida, enriquecido com macro e micronutrientes. Em cada um dos tubetes foram semeadas duas sementes de maracujazeiro *Passiflora edulis f. flavicarpa*, genótipo considerado suscetível a *D. juno juno* (BOIÇA JÚNIOR; ANGELINI; OLIVEIRA, 2008), com posterior desbaste da planta menos vigorosa. Os tubetes contendo as mudas foram mantidos sobre bancada em casa de vegetação. A irrigação foi realizada diariamente, com auxílio de regador, visando suprir as necessidades hídricas durante a germinação.

Sessenta dias após a semeadura, quando as plantas estavam com aproximadamente 15 cm (COSTA et al., 2016), foi realizada a seleção das mudas mais vigorosas e o transplante das mesmas para vasos de polietileno de 5 litros, contendo 2/3 do mesmo substrato utilizado na semeadura e 1/3 de esterco de galinha curtido, porém suplementado de 25 g.vaso<sup>-1</sup> de superfosfato simples (16 a 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 18 a 20% de Ca) e 2,5 g.vaso<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O) (ambos da marca Heringer), sendo que, em cada vaso, foi plantada uma muda. Os vasos foram dispostos aleatoriamente sobre bancadas e as plantas irrigadas diariamente (aproximadamente 200 mL), a fim de suprir suas necessidades hídricas.

Dois experimentos foram conduzidos simultaneamente e submetidos às mesmas análises.

No primeiro, foram testadas doses de silicato de cálcio (78 a 88% de SiO<sub>2</sub>) (Dinâmica® Química Contemporânea Ltda., Indaiatuba, São Paulo, Brasil) aplicadas em dose única no preparo do substrato nos vasos. No segundo, foram testadas doses do produto

comercial foliar AgriSil® (98% de SiO<sub>2</sub>) (Agrobiológica – Soluções Naturais, Leme, São Paulo, Brasil). Foi realizado delineamento inteiramente casualizado em ambos.

A incorporação do silicato de cálcio ao substrato foi realizada antes do transplântio das mudas, sendo utilizado o equivalente de 0; 2,5; 5; 7,5 e 10 g Si.vaso<sup>-1</sup>, totalizando 5 tratamentos com 8 repetições cada.

No segundo experimento, realizou-se a primeira pulverização foliar um mês após o transplântio das mudas, com as seguintes concentrações: 0, 2, 4, 8 e 16 g.L<sup>-1</sup>, totalizando 5 tratamentos com 8 repetições cada. Foram realizadas um total de 5 aplicações em intervalos de 15 dias, sendo 100 ml de calda por tratamento nas duas primeiras pulverizações, 200 ml na terceira, 300 ml na quarta e 400 ml na quinta, no intuito de pulverizar a planta inteira, acompanhando seu desenvolvimento (FERREIRA et al., 2013).

Para pulverização foram utilizados pulverizadores manuais com capacidade para 0,5 L, sendo a mesma efetuada até o ponto de escorrimento das plantas. Durante as pulverizações, a superfície do solo nos vasos foi protegida com disco de papel, a fim de evitar que as gotículas que escorriam das folhas entrassem em contato com o solo, visando garantir o efeito exclusivo da aplicação foliar.

## **2.2 Avaliações**

### **2.2.1 Medidas fitotécnicas**

Foram avaliadas quanto à altura das plantas (cm), número de folhas, diâmetro do caule (mm), as medições foram feitas quinzenalmente, totalizando cinco, iniciando um mês após o transplântio, além da massa fresca e seca de parte aérea (g) ao final, totalizando 8 repetições. A massa seca do material vegetal foi pesada após secagem em estufa, a 60 °C, por 72 horas, até peso constante. Por se tratar de uma técnica destrutiva, foram utilizadas 5 repetições.

### **2.2.2 Teor de clorofila**

Os teores de clorofila a, b e total foram mensurados na quarta folha, completamente desenvolvida, a partir do ápice, sendo esta, considerada a folha diagnose de mudas de maracujazeiro (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), as leituras foram feitas quinzenalmente, totalizando cinco, realizadas no terço médio das folhas, obtidas com auxílio

de um aparelho medidor de teor de clorofila (ClorofiLOG – CFL 1030 - Chlorophyll Meter FALKER), totalizando 8 repetições.

### **2.2.3 Teor de silício**

A parte aérea de cinco plantas por tratamento foram coletadas, secas em estufa ventilada, a 60 °C, por 72 horas, até massa constante, pesadas e moídas separadamente. Para o Experimento 2, foi necessário lavar as plantas em água corrente e depois em água destilada para limpeza dos resquícios da adubação foliar. Determinou-se o teor de silício ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) de acordo com a metodologia proposta por Korndörfer, Pereira e Nolla (2004).

### **2.2.4 Análises anatômicas**

Para as análises anatômicas foram coletadas cinco folhas do terço médio por tratamento. Amostras dos tecidos foliares e radiculares foram fixadas em formaldeído - ácido acético glacial - álcool etílico 70% (FAA 70%) (JOHANSEN, 1940), por 72 horas e, posteriormente, conservada em etanol 70% ( $\text{v/v}^{-1}$ ). As secções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa tipo LPC com uso de lâmina de aço, posteriormente foram submetidas à clarificação com hipoclorito de sódio (1% - 1,25% de cloro ativo), tríplice lavagem em água destilada, coloração com solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1%), e então montadas em lâminas semipermanentes com água glicerinada (KRAUS; ARDUIN, 1997). Já as secções paradérmicas foram obtidas utilizando a técnica da impressão epidérmica (SEGATTO et al., 2004).

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Olympus CX31, acoplado à câmera digital Canon A630. As imagens foram analisadas em software para análise de imagens (ImageJ). Dentro de cada campo dos cortes transversais foram realizadas cinco medições por repetição e obtida a média, onde foram determinadas as espessuras do limbo foliar, parênquima paliçádico, esponjoso e das epidermes das faces adaxial e abaxial. Para a caracterização dos estômatos nas lâminas paradérmicas, foram analisados a densidade estomática (número de estômatos por  $\text{mm}^2$ ) da face abaxial, e a relação DP/DE (o diâmetro polar/diâmetro equatorial).



### 2.2.5 Fenólicos totais

Amostras compostas de duas folhas de duas plantas, totalizando quatro folhas do terço inferior de cada tratamento, foram coletadas e secadas a 40 °C por 7 dias, até atingirem peso constante. Posteriormente, foram trituradas em moinho de facas tipo Willy de rotor vertical. Um grama de cada amostra seca e triturada foi extraído separadamente, com auxílio de agitador magnético usando 50 ml de etanol em um erlenmeyer protegido da luz, por 90 minutos, sendo colocadas logo em seguida em processo de sonicação em Ultrassom (UltraCleaner 1600A) por 30 minutos.

Antes de armazenar as amostras, elas foram filtradas com auxílio de funil e papel filtro, depois colocadas em frascos de 50 mL protegidos de luz, lacradas e mantidas sob refrigeração, para análises posteriores.

Para preparo da curva padrão, foi utilizada solução alcoólica de ácido tânico. Para a quantificação de fenóis nas amostras, foi retirado 0,5 mL de cada extrato, acrescido de 2,5 mL da solução de Folin-Ciocalteu a 10% (v/v) e 2,0 mL da solução de carbonato de sódio a 4% (m/v), tendo sido protegidos da luz com papel alumínio; após 30 minutos, foi medida a absorbância em espectrofotômetro, a 760 nm. As determinações foram realizadas em triplicata e o resultado expresso em mg de ácido gálico.100 g amostra<sup>-1</sup>.

### 2.2.6 Atividade enzimática

Para a obtenção dos extratos utilizados na determinação da atividade das enzimas fenilalanina amônia-liase (PAL), peroxidase (POX) e polifenoloxidase (PPO), amostras compostas de duas folhas por tratamento foram maceradas com N<sub>2</sub> líquido em almofariz, com adição de polivinilpirrolidona (PVP) 1% (p/p), até a obtenção de um pó fino. O pó obtido foi homogeneizado em tampão fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM. Os homogeneizados foram centrifugados a 13.000 g, por 25 minutos, a 4°C, e os sobrenadantes foram utilizados para as análises enzimáticas (BIEMELT; KEETMAN; ALBRECHT, 1998).

Para a determinação da PAL em Placa UV, o tecido foliar foi macerado conforme efetuado para as demais enzimas. Para cada grama de pó macerado, adicionaram-se 3 mL de tampão fosfato de sódio 50 mM pH 6,5, acrescido de 1 mM de PMSF e 1% de PVP. A solução foi centrifugada a 13.000 g, por 25 minutos, a 4°C e o sobrenadante foi usado como

fonte enzimática. A atividade da PAL foi determinada conforme metodologia descrita por Zucker (1965). Adicionaram-se 5  $\mu\text{L}$  do extrato enzimático, ajustado para 200  $\mu\text{L}$  de solução, contendo Tris-HCl 100mM pH 8,8 e L-fenilalanina 50 mM. Após incubação a 37°C, por 20 minutos, a absorbância foi medida a 280nm. O coeficiente de extinção molar de 5000  $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$  foi usado para calcular a atividade da PAL ( $\mu\text{mol}$  ácido transcinâmico. $\text{mgMF}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ).

A atividade da POX foi determinada pela oxidação do guaiacol, de acordo com a metodologia de Urbanek, Kuzniakgebarowska e Herka (1991). Adicionou-se 40  $\mu\text{L}$  do extrato enzimático, ajustado para 200  $\mu\text{L}$  de solução, contendo fosfato de potássio 100 mM pH 7,0, guaiacol 7,5 mM e peróxido de hidrogênio 18,75 mM. Após incubação a 30°C, por 2 minutos, a absorbância foi medida a 480nm. O coeficiente de extinção molar de 1,235  $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$  foi usado para calcular a atividade da POX (CHANCE; MAEHLEY, 1955) em  $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2.\text{mgMF}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .

Para a obtenção do extrato para determinação enzimática da PPO, o tecido foliar foi macerado conforme descrito acima. O pó obtido foi homogeneizado em tampão fosfato de potássio 30 mM, pH 7,0, EDTA 0,1 mM e água. O homogeneizado foi centrifugado a 13.000 g, por 25 minutos, a 4°C, e o sobrenadante foi utilizado para determinação da atividade enzimática. A atividade da PPO foi determinada conforme metodologia descrita por Kar e Mishra (1976). Adicionou-se 20  $\mu\text{L}$  do extrato enzimático, ajustado para 200  $\mu\text{L}$  de solução contendo fosfato de potássio 70 mM pH 7,0 e catecol 20 mM. Após incubação a 30°C, por 10 minutos, a absorbância foi medida a 410 nm. O coeficiente de extinção molar de 1,235  $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$  foi usado para calcular a atividade da PPO ( $\mu\text{mol catecol}.\text{mgMF}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ).

A proteína total de cada extrato enzimático foi mensurada, de acordo com o método de Bradford (1976), usando-se uma curva padrão de albumina sérica bovina.

### 2.3 Análise estatística

Todas as variáveis tiveram, para os dois experimentos, normalidade de resíduos e homocedasticidade de variâncias testados, garantindo o uso da estatística paramétrica, ANOVA one-way (com um fator) para avaliar a nulidade de efeito dos tratamentos, considerando-se o nível de significância de 5%. Para cada variável com resultado significativo, foram aplicados Intervalos de Confiança de 95% (IC95%) como alternativa para comparações *a posteriori*. O teste *a posteriori* com o IC95% denota semelhanças estatísticas quando há sobreposição de um intervalo de confiança de um tratamento sobre a média de

outro tratamento. A não sobreposição denota, por outro lado, diferença estatística significativa. Todos os resultados destes testes foram apresentados visualmente nos gráficos, facilitando a sua interpretação. Os intervalos de confiança são assim construídos:

$$\left(\bar{x} - 1.96 \times \frac{s}{\sqrt{n}} , \bar{x} + 1.96 \times \frac{s}{\sqrt{n}}\right). \quad (1)$$

Todos os testes estatísticos foram realizados no software TIBCO Statistica (data analysis software system), version 13, licença JPZ804I376009FA-9.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

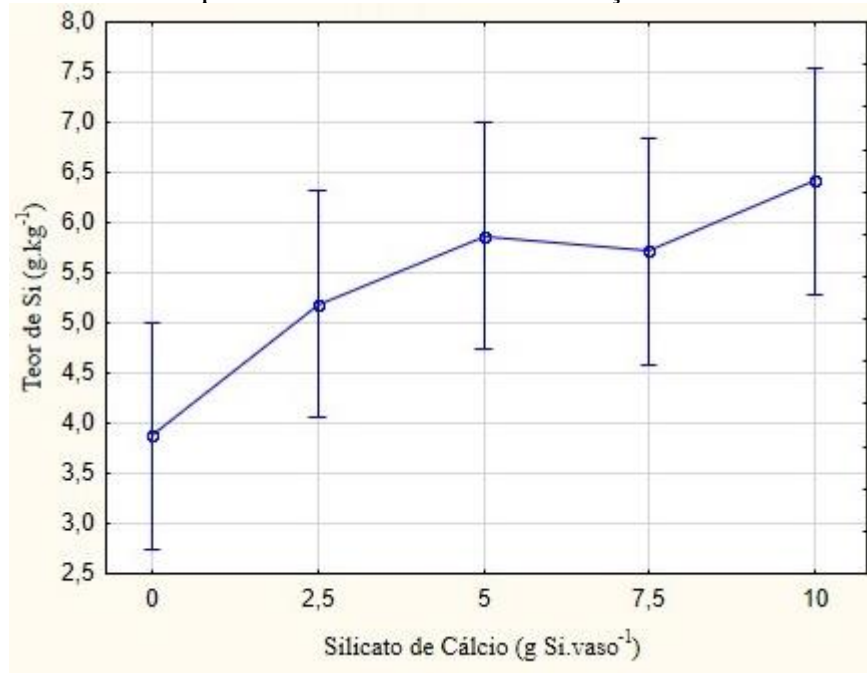
Não houve diferença significativa nas seguintes medidas fitotécnicas para as fontes silicato de cálcio: número de folhas ( $F_{(4,35)} = 1,096$ ;  $p=0,373$ ), altura ( $F_{(4,35)} = 0,517$ ;  $p=0,723$ ), diâmetro ( $F_{(4,35)} = 1,899$ ;  $p=0,132$ ), peso fresco ( $F_{(4,20)} = 0,210$ ;  $p=0,929$ ), peso seco ( $F_{(4,20)} = 0,180$ ;  $p=0,945$ ); bem como para Agrisil: número de folhas ( $F_{(4,35)} = 0,331$ ;  $p=0,855$ ), altura ( $F_{(4,35)} = 1,500$ ;  $p=0,223$ ), diâmetro ( $F_{(4,35)} = 1,892$ ;  $p=0,133$ ), peso fresco ( $F_{(4,20)} = 1,830$ ;  $p=0,162$ ), peso seco ( $F_{(4,20)} = 1,846$ ;  $p=0,159$ ).

Este resultado difere do encontrado por Costa et al. (2016), onde as doses de 0,28 e 0,55 g Si.vaso<sup>-1</sup> de ácido silícico (SiO<sub>2</sub>.XH<sub>2</sub>O), aplicadas no solo em *drench*, proporcionaram ganho de crescimento no maracujazeiro. A discrepância de resultados pode estar relacionada ao solo e fonte utilizados. Por sua vez, Prado e Natale (2005) constataram crescimento significativo para altura, diâmetro de caule e número de folhas em plantas de maracujazeiro ao utilizarem silicato de cálcio.

Também não foram obtidos resultados significativos para os teores clorofila a ( $F_{(4,35)} = 1,600$ ;  $p=0,196$ ), ( $F_{(4,35)} = 2,370$ ;  $p=0,070$ ); clorofila b ( $F_{(4,35)} = 1,755$ ;  $p=0,160$ ), ( $F_{(4,35)} = 0,767$ ;  $p=0,553$ ); e clorofila total ( $F_{(4,35)} = 1,930$ ;  $p=0,126$ ), ( $F_{(4,35)} = 1,420$ ;  $p=0,248$ ) para silicato de cálcio e Agrisil, respectivamente. Já Nascimento et al. (2018), utilizando-se o equivalente a 1.4 t Si.ha<sup>-1</sup> via solo e foliar, encontraram incremento de clorofila total em arroz em ambas formas de aplicação.

Com relação ao teor de silício, foi obtido efeito significativo para silicato de cálcio ( $F_{(4,20)} = 3,186$ ;  $p=0,035$ ), em que todos os tratamentos apresentaram maior teor de Si em relação a testemunha sendo que o tratamento de 10 g Si.vaso<sup>-1</sup> apresentou o maior teor (FIGURA 1).

Figura 1 - Teor de silício em parte aérea de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.

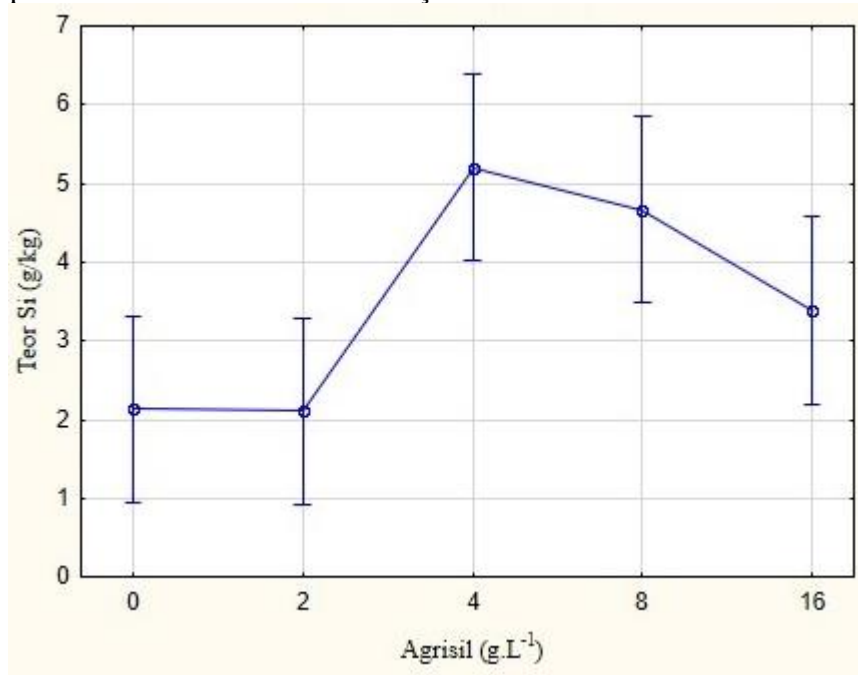


Fonte: Do autor (2018).

Costa et al. (2016), constataram crescimento linear da concentração de silício, analisando apenas folhas de maracujazeiro-azedo mediante o aumento da dose de ácido silícico ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$ ) a 1%, mas não encontraram diferença quando se avaliou a concentração do nutriente no caule. No presente estudo, toda a parte aérea (folha e caule) foi seca e triturada para posterior determinação, pois a lagarta além das folhas, pode atacar brotações e até raspar o caule.

Já no experimento com Agrisil ( $F_{(4,20)} = 6,264$ ;  $p=0,001$ ), a testemunha e o tratamento de  $2 \text{ g.L}^{-1}$  foram iguais entre si, havendo crescimento considerável na dose de 4 e  $8 \text{ g.L}^{-1}$ , decrescendo a um teor intermediário na dose de  $16 \text{ g.L}^{-1}$  (FIGURA 2).

Figura 2 - Teor de silício em parte aérea de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Estes resultados integram o *P. edulis* no grupo das plantas não acumuladoras de silício, pois, de acordo com Ma, Miyake e Takahashi (2002), os acumuladores de Si são definidos como plantas que contém mais de 1% de Si e com razão molar Si/Ca superior a 1. Plantas que contém 0,5-1% de Si, ou maior que 1% Si, mas com razão menor de 1 Si/Ca são definidos como intermediárias, e plantas que contém menos de 0,5% de Si, não acumuladoras de Si.

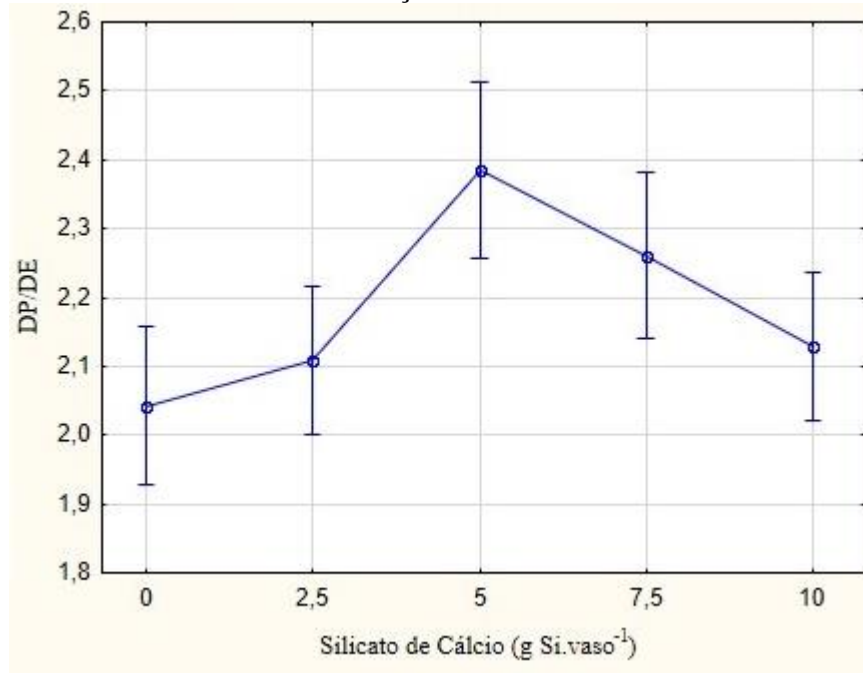
Ao usar as mesmas doses do mesmo produto AgriSil<sup>®</sup> (98% de SiO<sub>2</sub>) em ameixeiras, Ferreira et al. (2013) encontraram efeito linear positivo para silício na folha, novamente diferenciando do presente estudo, que analisou toda a parte aérea da planta.

É comum, em trabalhos com adubação de silício, que até mesmo a testemunha apresente valores consideráveis do elemento, pois o mesmo se encontra em abundância na natureza, até mesmo na água (LUZ; GUIMARÃES; KORNDÖRFER, 2006). No presente trabalho, com uso de substrato comercial em vasos amenizou-se este problema, pois uma quantidade pequena de silício foi observada nas testemunhas.

Em relação as características anatômicas, em análises de cortes paradérmicos, não se observou diferença significativa no número de estômatos por mm<sup>2</sup> na fonte silicato de cálcio ( $F_{(4,20)} = 1,419$ ;  $p=0,263$ ), mas para a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial (DP/DE)

houve efeito significativo ( $F_{(4,199)} = 5,005$ ;  $p < 0,001$ ), essa relação cresce com o aumento da dose até 5 e 7,5 g Si.vaso<sup>-1</sup>, voltando a cair na maior dose (FIGURA 3). Uma maior relação pode indicar que os estômatos das plantas expostas a essas dosagens podem ser mais eficientes em capturar CO<sub>2</sub> e evitar a perda de água.

Figura 3 - Relação diâmetro polar/diâmetro equatorial (DP/DE) de estômatos da face abaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do Autor (2018).

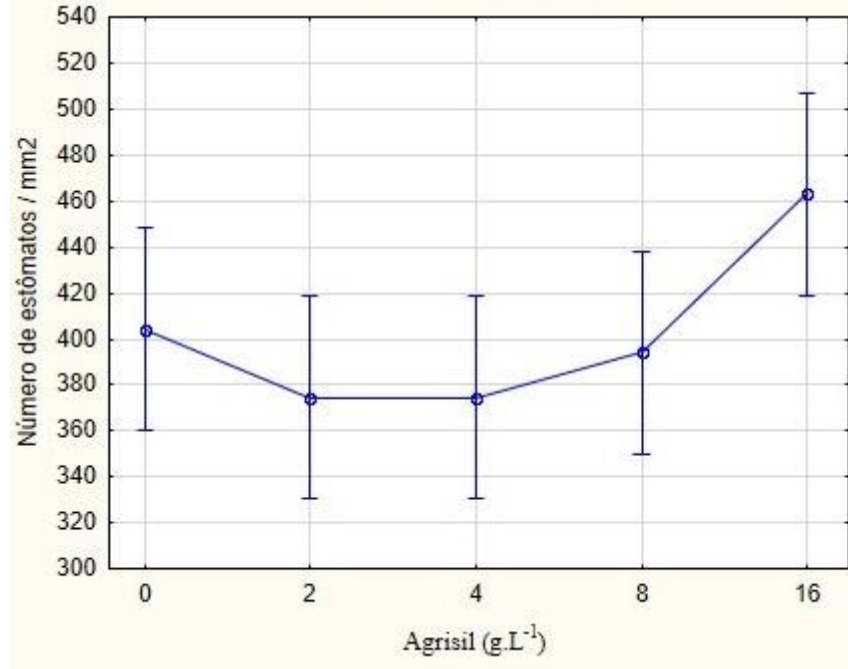
Já Soares et al. (2012), observaram um aumento da densidade estomática na face abaxial em orquídea híbrida (*Laeliacattleya Culminantes "Tuilerie"* x *Laeliacattleya Sons Atout Rotunda*) x *Brassolaeliacattleya Startifire Moon Beach*), causada pela dose de 2 mg L<sup>-1</sup> de silicato de cálcio *in vitro*, porém manutenção da relação DP/DE.

De acordo com Khan et al. (2002), a relação DP/DE associada ao formato das células-guarda são importantes particularidades para inferir sobre a funcionalidade dos estômatos, visto que a forma elíptica (maior DP/DE) é característica de estômatos funcionais, ao passo que a forma arredondada está associada a estômatos que não apresentam funcionalidade normal. Sendo assim as doses de 5 e 7,5 g Si.vaso<sup>-1</sup> proporcionam maior funcionalidade aos estômatos.

Para a fonte Agrisil houve efeito dos tratamentos ( $F_{(4,20)} = 2,978$ ;  $p = 0,044$ ), sendo a dose 16 g.L<sup>-1</sup> a que proporcionou maior densidade estomática, com todas as outras iguais

entre si (FIGURA 4), provável compensação pela menor funcionalidade do estômatos observada na figura 5, onde a relação DP/DE foi maior na testemunha, com as doses de 2, 4 e 8 g.L<sup>-1</sup> intermediárias e menor na dose de 16 g.L<sup>-1</sup> ( $F_{(4,403)} = 5,523$ ;  $p < 0,001$ ).

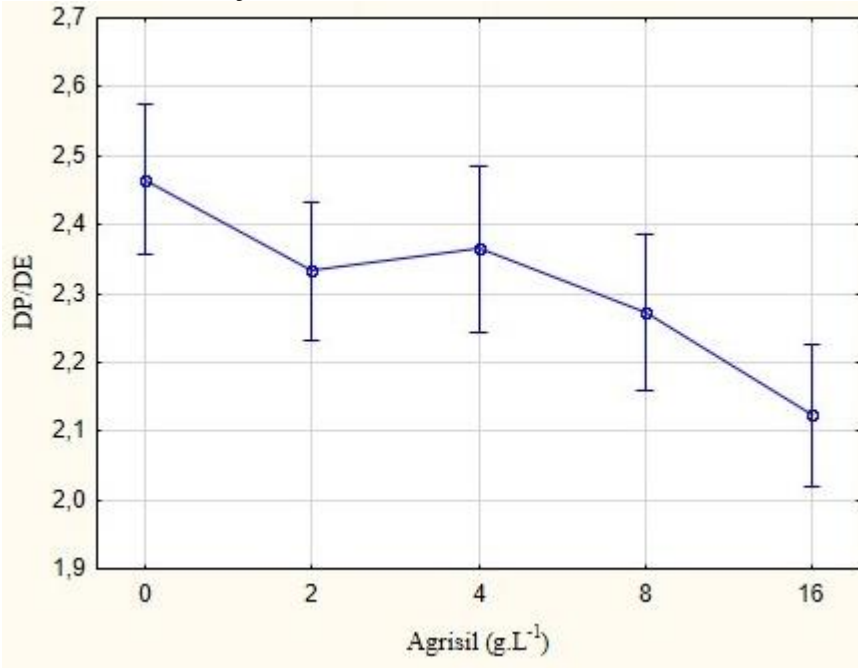
Figura 4 - Número de estômatos/mm<sup>2</sup> da face abaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).



Figura 5 - Relação diâmetro polar/diâmetro equatorial (DP/DE) de estômatos da face abaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.

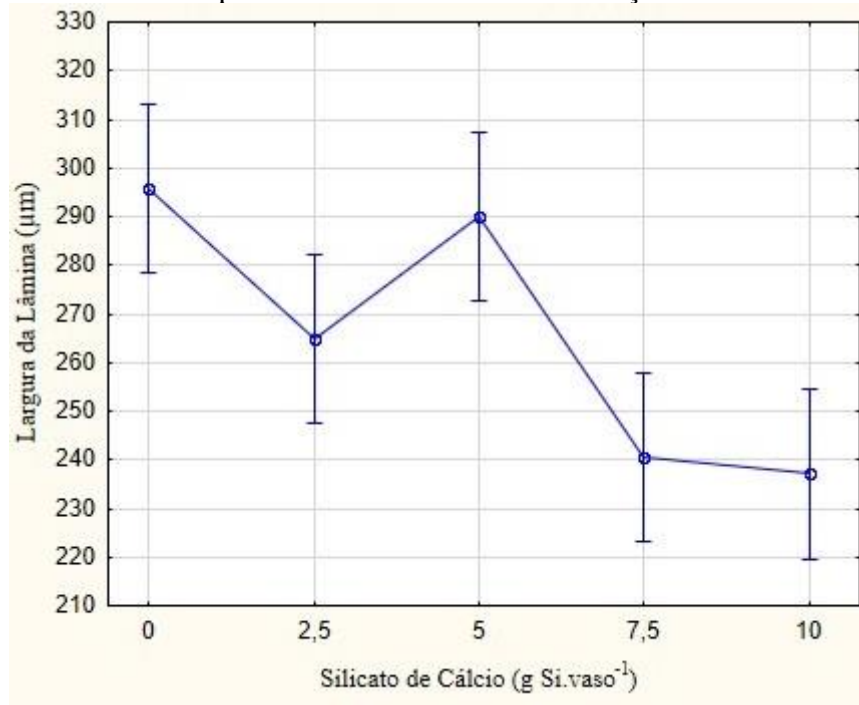


Fonte: Do autor (2018).

Diferente de Souza (2015), que também estudou o efeito do silício sobre os estômatos em maracujazeiro-azedo, encontrou maior relação DP/DE em concentrações 0,28, 0,55 e 0,83 g Si/vaso quando comparadas à testemunha.

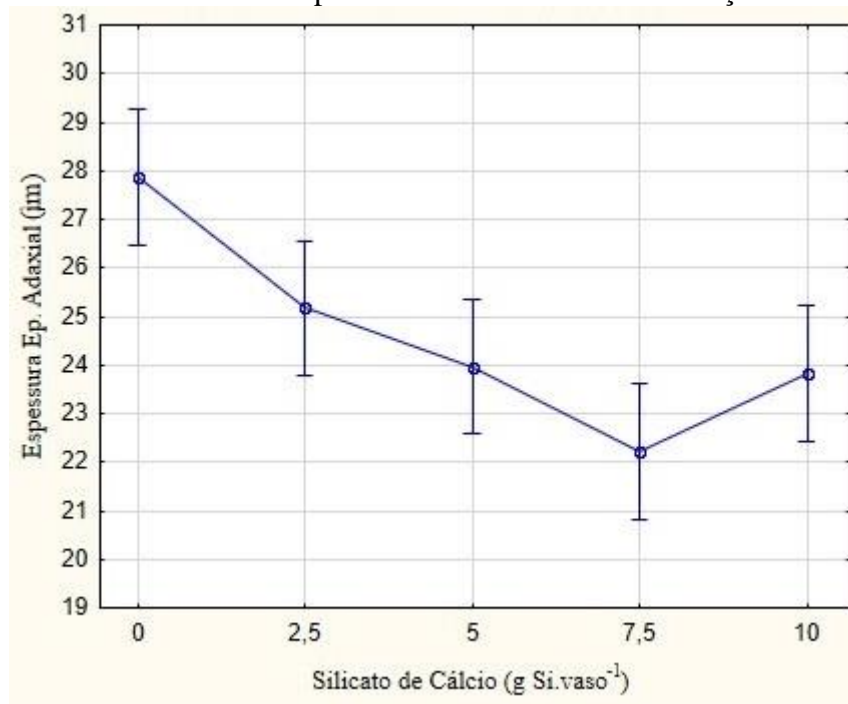
Para silicato de cálcio, quando se observa efeito de tratamento nos cortes transversais, há uma tendência de diminuição da espessura das estruturas do limbo, tais como, largura da lâmina ( $F_{(4,120)} = 9,693$ ;  $p < 0,001$ ), epiderme adaxial ( $F_{(4,120)} = 9,007$ ;  $p < 0,001$ ) e parênquima esponjoso ( $F_{(4,120)} = 8,949$ ;  $p < 0,001$ ), conforme se aumenta a dosagem via solo (FIGURAS 6, 7 e 8).

Figura 6 - Largura da lâmina foliar de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



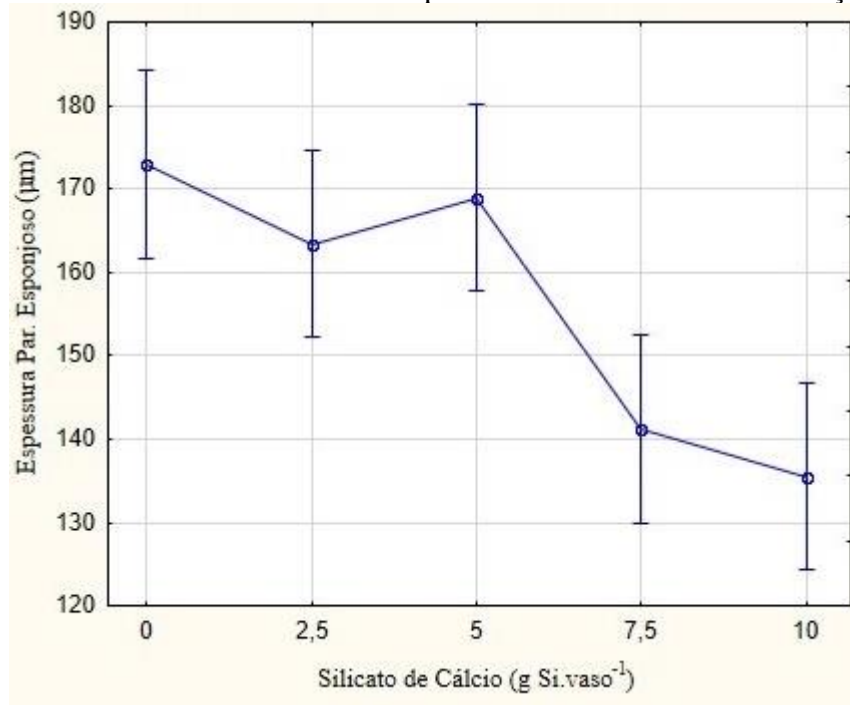
Fonte: Do autor (2018).

Figura 7 - Espessura da epiderme adaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

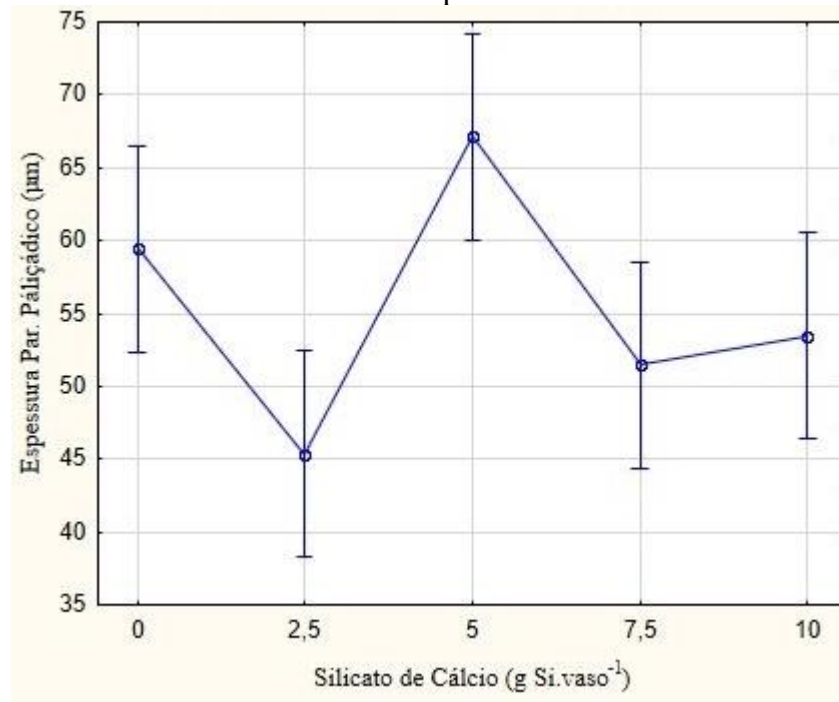
Figura 8 - Espessura do parênquima esponjoso de folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Apenas para as variáveis parênquima paliçádico se observou comportamento diferente ( $F_{(4,120)} = 5,385$ ;  $p < 0,001$ ), sendo a testemunha e a dosagem de 5 g Si.vaso<sup>-1</sup> iguais e superiores às demais no que diz respeito a essa variável resposta (FIGURA 9), e estatisticamente não significativo para epiderme abaxial ( $F_{(4,120)} = 1,265$ ;  $p = 0,287$ ).

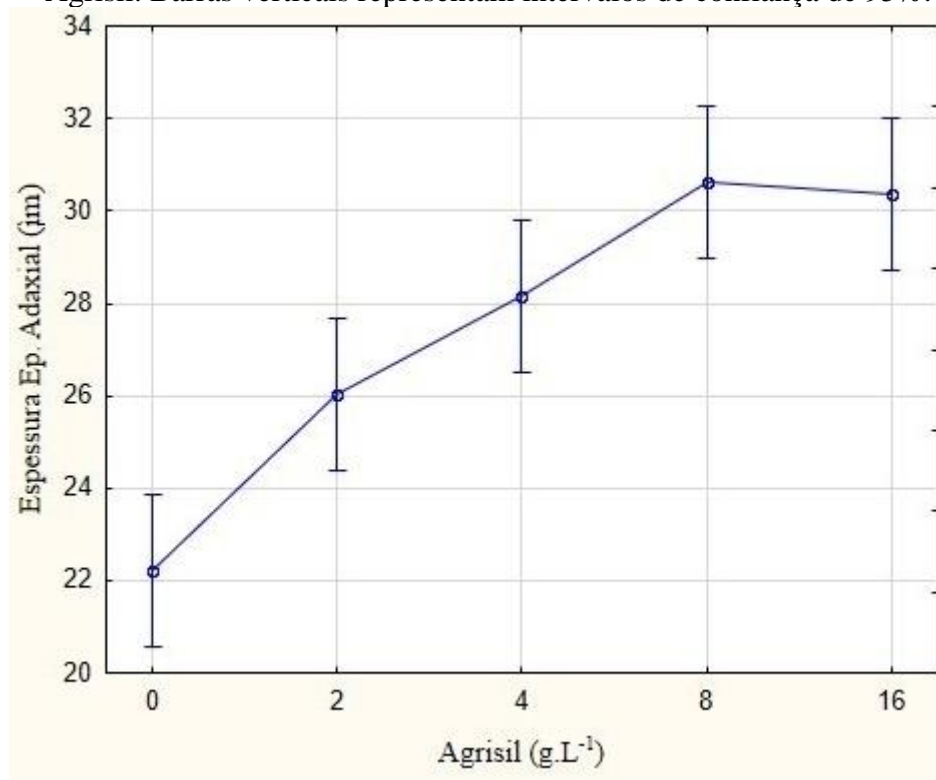
Figura 9 - Espessura do parênquima paliçádico de folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Para Agrisil, observa-se efeito crescente na espessura da epiderme adaxial conforme se incrementa as dosagens de silício ( $F_{(4,120)} = 17,634$ ;  $p < 0,001$ ), sendo a testemunha o tratamento com menor valor, seguido da dosagem de 2 g.L<sup>-1</sup> e crescendo até a dosagem de 4 g.L<sup>-1</sup>, valor estatisticamente igual às dosagens de 8 e 16 g.L<sup>-1</sup> (FIGURA 10).

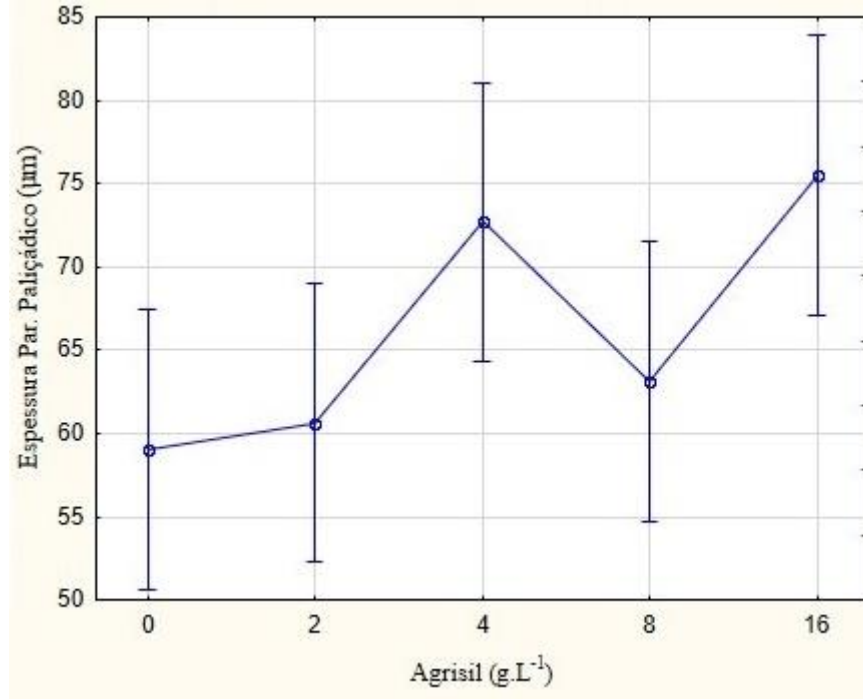
Figura 10 - Espessura da epiderme adaxial de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Na variável parênquima paliçádico ( $F_{(4,120)} = 3,075$ ;  $p=0,018$ ), observou-se que a testemunha e as doses de 2 e 8 g.L<sup>-1</sup> foram estatisticamente iguais e inferiores às doses de 4 e 16 g.L<sup>-1</sup> (FIGURA 11).

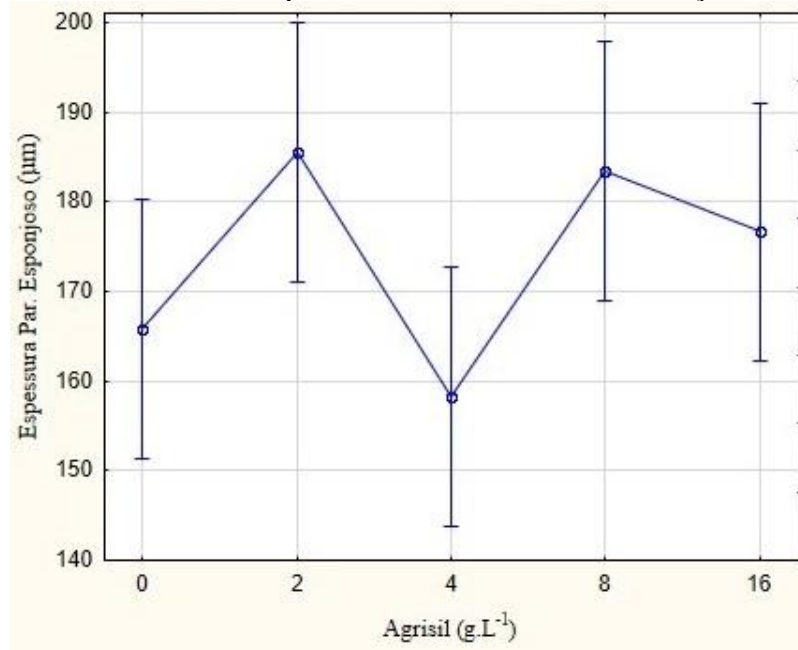
Figura 11 - Espessura do parênquima paliçádico de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Para parênquima esponjoso ( $F_{(4,120)} = 2,550$ ;  $p=0,042$ ), a testemunha e a dose de  $4 \text{ g.L}^{-1}$  foram estatisticamente iguais e inferiores às doses de  $2, 8$  e  $16 \text{ g.L}^{-1}$  (FIGURA 12).

Figura 12 - Espessura do parênquima esponjoso de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Para as variáveis largura da lâmina ( $F_{(4,120)} = 2,087$ ;  $p=0,086$ ) e espessura da epiderme abaxial ( $F_{(4,120)} = 2,306$ ;  $p=0,062$ ), não houve diferença significativa entre os tratamentos.

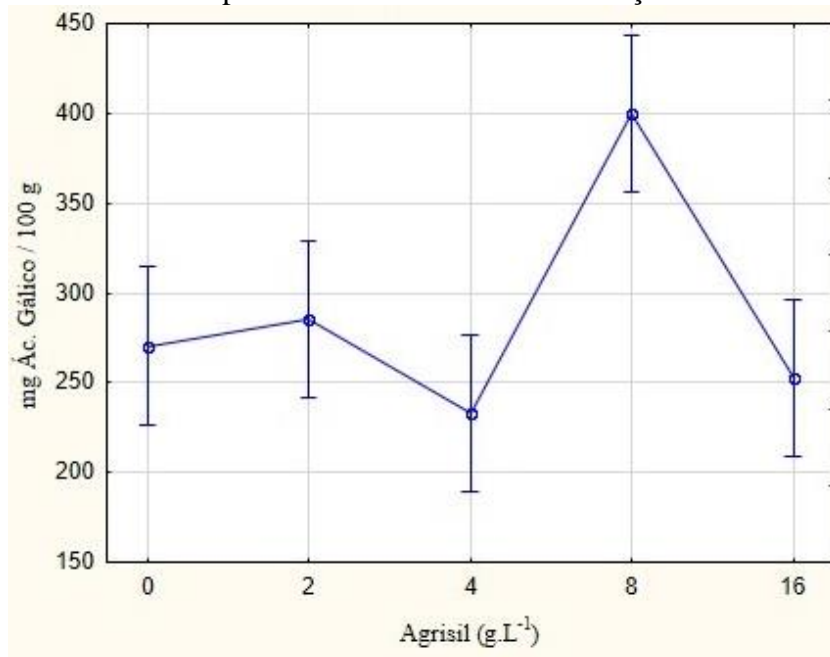
A folha é um órgão de grande plasticidade fenotípica, e os diferentes resultados com adubação de silício corroboram esse fato. Zanetti et al. (2016) estudando cacau *Theobroma cacao* e Costa (2017) com a cultura do coquinho-azedo *Butia capitata*, obtiveram resultados não significativos nas medições das estruturas anatômicas.

Outros autores encontraram diferença na anatomia devido à aplicação de silício, tais como Dias et al. (2014), em antúrio (*Anthurium adreaenum* cv. Rubi) e Soares et al. (2012), em orquídea nativa (*Brassavola perrinii*) e orquídea híbrida (*(Laeliacattleya Culminantes "Tuilerie" x Laeliacattleya Sons Atout Rotunda) x Brassolaeliacattleya Startifire Moon Beach*).

Já Assis et al. (2013) encontrou ambas situações em seu experimento *in vitro* com crista-de-galo *Celosia cristata*, variando o resultado anatômico para significativo apenas na maior concentração de ágar.

Para a fonte silicato de cálcio, a análise de fenólicos totais não foi significativa ( $F_{(4,40)} = 2,065$ ;  $p=0,103$ ), enquanto para Agrisil, houve diferença estatística ( $F_{(4,40)} = 0,057$ ;  $p=0,069$ ), sendo o tratamento de  $8 \text{ g.L}^{-1}$  o que proporcionou maior concentração, enquanto as demais doses foram igualmente inferiores (FIGURA 13).

Figura 13 - Teor de fenólicos totais de folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Todos os fenilpropanóides são derivados do ácido trans-cinâmico que é formado a partir da L-fenilalanina pela ação da PAL, a enzima chave na biossíntese dos compostos fenólicos. A PPO catalisa a oxidação de polifenóis, a hidroxilação de monofenóis e a lignificação de células vegetais. A POX está envolvida em uma ampla gama de processos bioquímicos, como a formação de lignina e suberina, a interligação dos componentes da parede celular e a defesa contra patógenos (WEAVER; HERRMANN, 1997). Evidências crescentes mostram que o Si influencia as concentrações de compostos fenólicos e a atividade de enzimas metabolizadoras (MAKSIMOVIĆ et al. 2007; SCHALLER; BRACKHAGE; DUDEL, 2012; HAJIBOLAND; BAHRAMI-RAD; POSCHENRIEDER, 2017).

Esse efeito pode ser potencializado quando a planta é submetida a um agente exógeno, como por exemplo um patógeno. Tatagiba et al. (2014) verificaram que o total de fenólicos solúveis e a atividade enzimática da PAL, POX e PPO só sobressaía após 72h da inoculação do fungo *Monographella albescens* em arroz. Yang et al. (2017) encontraram resultado parecido estudando infestação de cigarrinha-marrom do arroz (*Nilaparvata lugensem*), as enzimas PAL, POX e PPO, só aumentaram significativamente após 48h, 48h, e 24h, respectivamente. Esses estudos ajudam a entender a não significância dos fenólicos totais e PPO para a fonte silicato de cálcio e PAL e PPO para Agrisil no presente trabalho, tendo em vista que as folhas foram coletadas para análise antes da inclusão das lagartas.

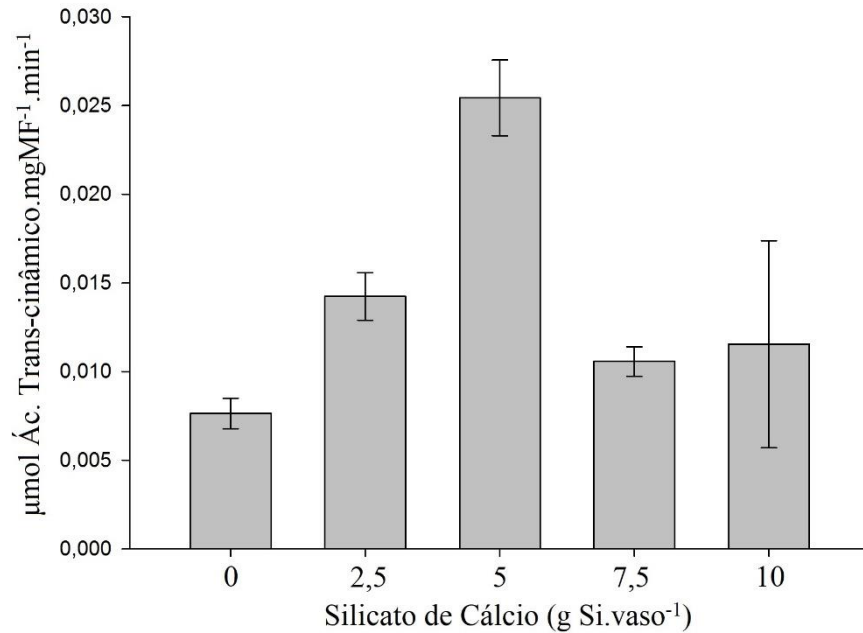
Isso se deve ao efeito chamado *priming*, que se trata de uma estratégia de resistência induzida, que melhora a capacidade defensiva das plantas (MAUCH-MANI et al., 2017). Os efeitos do silício em condições normais são latentes, uma vez que para a maioria dos estudos disponíveis, não são observadas modificações importantes. O silício, provavelmente ativa o metabolismo da planta, tornando-a mais eficiente em responder a estímulos exógenos (LUYCKX et al., 2017).

Nas análises enzimáticas, os dados não se ajustaram à curva de regressão, resultando em um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) muito baixo, procedendo-se a comparação de médias pelo teste de Tukey a nível de significância de 5%.

Diante disso, para silicato de cálcio, apenas as enzimas PAL e POX foram estatisticamente significativas, diferentemente da enzima PPO. Para PAL o tratamento de 5 g Si.vaso<sup>-1</sup> foi superior aos demais (FIGURA 14).



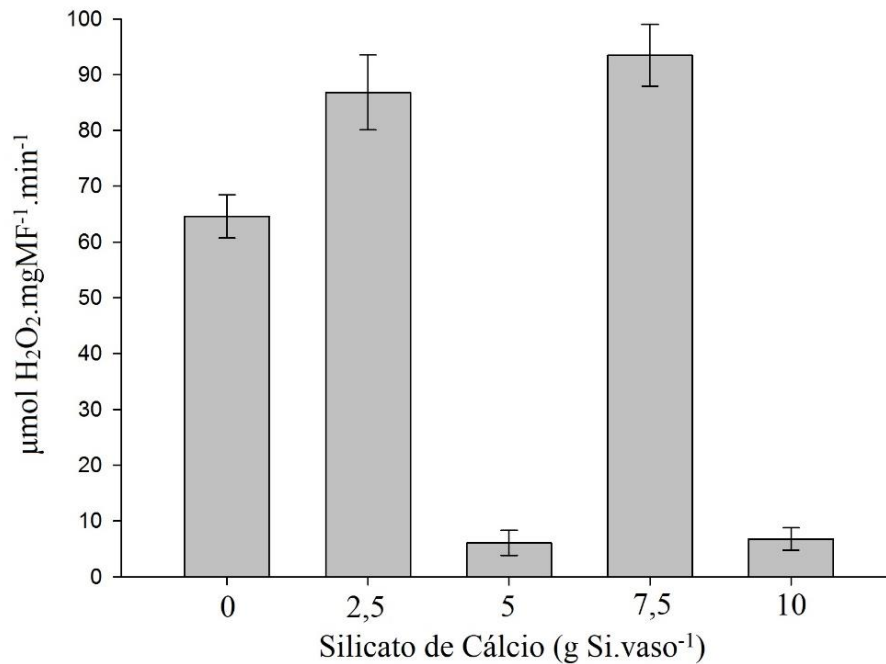
Figura 14 - Atividade enzimática da PAL em folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Para POX, os tratamentos de 2,5 e 7,5 g Si.vaso<sup>-1</sup> obtiveram maior expressão dessa enzima, com a testemunha em nível intermediário e os tratamentos de 5 e 10 g Si.vaso<sup>-1</sup> abaixo (FIGURA 15).

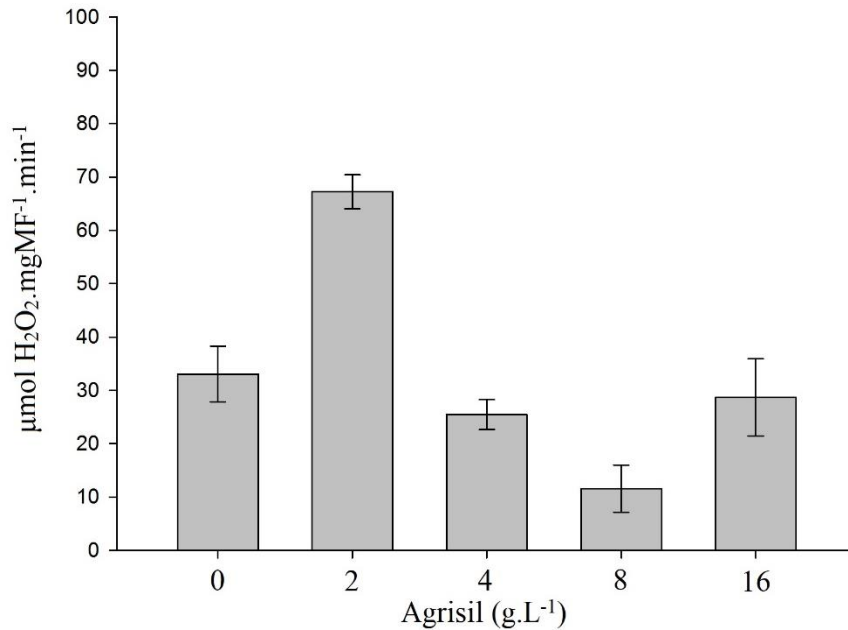
Figura 15 - Atividade enzimática da POX em folhas de *P. edulis* em função de doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Para a fonte de silício Agrisil, apenas a enzima POX apresentou resultado significativo, diferentemente das enzimas PAL e PPO, com a dose de 2 g.L<sup>-1</sup> superior, a dose de 8 g.L<sup>-1</sup> sendo inferior a todas, e as demais em nível intermediário (FIGURA 16).

Figura 16 - Atividade enzimática da POX em folhas de *P. edulis* em função de doses de Agrisil. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Estudando o efeito de silicato de sódio e nano partículas de silício na atividade enzimática de POX em aveia-comum (*Avena sativa* L.), Asgari et al. (2018) não encontraram acréscimo linear da atividade enzimática conforme se aumentou a dose para ambas as fontes de silício, resultado semelhante ao obtido no presente estudo.

O silicato de cálcio na dose de 10 g Si.vaso<sup>-1</sup> e Agrisil nas doses de 4 e 8 g.L<sup>-1</sup> proporcionaram os maiores teores de Si na parte aérea, o que pode ocasionar ganhos diversos ao maracujazeiro-azedo. As doses de 5 e 7,5 g Si.vaso<sup>-1</sup> de silicato de cálcio resultaram em maior relação DP/DE, que denota maior funcionalidade dos mesmos, a dose de 16 g.L<sup>-1</sup> de Agrisil promoveu maior densidade estomática e espessura da epiderme adaxial, que estão ligadas à absorção de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese e à transpiração, a dose de 8 g.L<sup>-1</sup>, proporcionou maior concentração de fenólicos totais; a atividade enzimática da PAL foi incrementada na dose de 5 g Si.vaso<sup>-1</sup> de silicato de cálcio e a de POX em 2,5 e 7,5 g Si.vaso<sup>-1</sup>, que foi estimulada também pela dose de 2 g.L<sup>-1</sup> de Agrisil, os fenólicos totais e a atividade das enzimas estudadas estão diretamente ligados a defesa bioquímica da planta contra insetos.

Os resultados entre as formas de aplicação do silício se mostraram diferentes, ou seja, a forma de admissão do elemento é fator preponderante sobre as variáveis analisadas. Ambas as fontes apresentaram resultados interessantes, porém, o silicato de cálcio se mostra mais promissor, pois beneficia mais variáveis de interesse agrônomo à cultura do maracujazeiro-azedo.

#### 4 CONCLUSÕES

a) Para fonte aplicada no solo (silicato de cálcio):

- O silício não interfere no crescimento do maracujazeiro-azedo;
- A aplicação favorece o acúmulo desse elemento na parte aérea;
- Favorece a funcionalidade dos estômatos, o aumento da espessura do parênquima paliçádico e a atividade das enzimas PAL e POX;

- A calagem com o silicato de cálcio ao invés de calcário acrescenta os benefícios do silício ao maracujazeiro-azedo.

b) Para a fonte foliar (Agrasil):

- O silício não interfere no crescimento do maracujazeiro-azedo;
- A aplicação favorece o acúmulo desse elemento na parte aérea;
- Favorece a densidade estomática, o espessamento da epiderme adaxial, parênquima paliçádico e esponjoso;

- Favorece o aumento de fenólicos totais e a atividade da enzima POX.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. L. P.; DAMATO JÚNIOR, E. R.; LEONEL, S. Nutrição mineral e adubação. In: LEONEL, S.; SAMPAIO, A. C. (Ed.). **Maracujá doce**: aspectos técnicos e econômicos. Jaboticabal: UNESP, 2007. p. 59-71.
- ASGARI, F.; MAJD, A.; JONOUBI, P.; NAJAFI, F. Effects of silicon nanoparticles on molecular, chemical, structural and ultrastructural characteristics of oat (*Avena sativa* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 127, p. 152-160, 2018.
- ASMAR, S. A.; SOARES, J. D. R.; SILVA, R. A. L.; PASQUAL, M.; PIO, L. A. S.; CASTRO, E. M. Anatomical and structural changes in response to application of silicon (Si) in vitro during the acclimatization of banana cv. 'Grand Naine'. **Australian Journal of Crop Science**. v. 9, n. 12, p. 1236-1241, 2015.
- ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; COELHO, M. The effects of foliar spray application of silicon on plant damage levels and components of larval biology of the pest butterfly *Chlosyne lacinia saundersii* (Nymphalidae). **International Journal of Pest Management**, v. 59, n. 2, p.128-134, 2013.
- BIEMELT, S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-aeration following hypoxia or anoxia leads to activation of the antioxidative defense system in roots of wheat seedlings. **Plant Physiology**, Rockville, v. 116, p. 651-658, 1998.
- BOIÇA JÚNIOR, A. L.; ANGELINI, M. R.; OLIVEIRA, J. C. Aspectos biológicos de *Dione juno juno* (Cramer) (Lepidoptera: Nymphalidae) em genótipos de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 101-105, 2008.
- BOTELHO, D. M. S.; POZZA, E. A.; ALVES, E.; FURTINI NETO, A. E.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; CASTRO, D. M. Aspectos anatômicos e fisiológicos de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.) adubadas com ácido silícico. **Coffee Science**, v. 4, n. 2, p. 93-99, 2009.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.
- BRAGA, F. T.; NUNES, C. F.; FAVERO, A. C.; PASQUAL, M.; CARVALHO, J. G.; CASTRO, E. M. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 128-132, 2009.
- CHANCE, B.; MAEHLEY, A. C. Assay of catalases and peroxidases. **Methods in Enzymology**, v. 2, p. 764-775, 1955.
- COSTA, B. N. S.; COSTA, I. J. S.; DIAS, G. M. G.; ASSIS, F. A.; PIO, L. A. S.; SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M. Morpho-anatomical and physiological alterations of passion fruit fertilized with silicon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 2, p.163-171, 2018.

COSTA, B. N. S.; DIAS, G. M. G.; COSTA, I. J. S.; ASSIS, F. A.; SILVEIRA, F. A.; PASQUAL, M. Effects of silicon on the growth and genetic stability of passion fruit. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 38, n. 4, p. 503-511, 2016.

COSTA, I. J. S. **Silício na morfofisiologia de plantas de coquinho-azedo (*Butia capitata*)**. 2017. 73 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2017.

DIAS, G. M. G.; SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M.; SILVA, R. A. L.; RODRIGUES, L. C. A. Photosynthesis and leaf anatomy of *Anthurium* cv. Rubi plantlets cultured in vitro under different silicon (Si) concentrations. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 8, p. 1160, 2014.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, M. A.; GROSSI, J. A. S.; SOUZA, L. T. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 34, n. 6, 2010.

FERRAZ, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; MELO, A. S.; MAGALHÃES, I. D.; FERNANDES, P. D.; ROCHA, M. S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p. 735-748, 2014.

FERREIRA, S. G. M.; BOTELHO, R. V.; FARIA, C. M. D. R.; MATEUS, M. A. F.; ZALUSKI, W. L. Desenvolvimento e fitossanidade de ameixeiras tratadas com silício em sistema orgânico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 1059-1065, 2013.

HAJIBOLAND, R.; BAHRAMI-RAD, S.; POSCHENRIEDER, C. Silicon modifies both a local response and a systemic response to mechanical stress in tobacco leaves. **Biol Plant**. v. 61, p.187–191, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2016**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polypheno-oxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315-319, 1976.

KHAN, P. S. S. V.; KOZAI, T.; NGUYEN, Q. T.; KUBOTA, C.; DHAWAN, V. Growth and net photosynthetic rates of *Eucalyptus tereticornis* Smith under photomixotrophic and various photoautotrophic micropropagation conditions. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 141-146, 2002.

KISHORE, K.; PATHAK, K. A.; SHUKLAR, R.; BHAR, R. Effect of storage temperature on physic-chemical and sensory attributes of purple passion fruit (*Passiflora edulis Sims*). **Journal Food Scienci Technology**, v. 48, p. 484-488. 2011.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizantes**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 34 p. (Boletim técnico, v. 2).

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1997. 198 p.

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J. F.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 8. 2017.

LUZ, J. M. Q.; GUIMARÃES, S. T. M. R.; KORNDÖRFER, G. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 3, p. 295-300, 2006.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATINOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2002. p. 17-39.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

MAKSIMOVIĆ, D. J.; BOGDANOVIĆ, J.; MAKSIMOVIĆ, V.; NIKOLIC, M. Silicon modulates the metabolism and utilization of phenolic compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown at excess manganese. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 170, p. 739-744, 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997. p. 280-313.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, London: Academic Press, 1995. p. 920.

MAUCH-MANI, B.; BACCELLI, I.; LUNA, E.; FLORS, V. Defense priming: an adaptive part of induced resistance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, p. 485-512, 2017.

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

PIRES, M. M.; GOMES, A.D.A.S.; MIDDLEJ, M.M.B.C.; SÃO JOSÉ, A.R.; ROSADO, P.L.; PASSOS, H.D.B. Caracterização do mercado de maracujá. In: PIRES, M. M.; SÃO JOSÉ, A.R.; CONCEIÇÃO, A. O. (Eds.) **Maracujá: avanços tecnológicos e sustentabilidade**. Ilhéus: Editus, 2011. p. 21-67.

PRADO, R.M.; NATALE, W. Efeito da aplicação de silicato de cálcio no crescimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 185-190, 2005.

RODRIGUES, F.A.; MCNALLY, D.J.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, v. 94, p. 177-183, 2004.

SCHALLER, J.; BRACKHAGE, C.; DUDEL, E. G. Silicon availability changes structural carbon ratio and phenol content of grasses. **Environmental and Experimental Botany**. v. 77, p. 283-287, 2012.

SEGATTO, F. B.; BISOGNIN, D. A.; BENEDETTI, M.; COSTA, L. C.; RAMPELOTTO, M. V.; NICOLOSO, F. T. Técnica para estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1597-1601, 2004.

SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M.; ARAUJO, A. G. de; CASTRO, E. M. de; PEREIRA, F. J.; BRAGA, F. T. Leaf anatomy of orchids micropropagated with different silicon concentrations. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, p. 413-421, 2012.

SOUZA, B. N. **Silício no desenvolvimento morfofisiológico de mudas de maracujazeiro amarelo**. 2015. 78 p. Dissertação (Mestrado Produção Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

TATAGIBA, S. D.; RODRIGUES, F. A.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B.; SILVA, L. C. Physiological responses of rice plants supplied with silicon to *Monographella albescens* infection. **Journal of Phytopathology**, v. 162, p. 596-606, 2014.

URBANEK, H.; KUZNIAKGEBAROWSKA, E.; HERKA, K. Elicitation of Defense Responses in Bean-Leaves by *Botrytis-Cinerea* Polygalacturonase. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 13, p. 43-50, 1991.

WEAVER, L. M.; HERRMANN, K. M. Dynamics of the shikimate pathway in plants. **Trends in Plant Science**, v. 2, p. 346–351, 1997.

YANG, L.; HAN, Y.; LI, P.; WEN, L.; HOU, M. Silicon amendment to rice plants impairs sucking behaviors and population growth in the phloem feeder *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). **Scientific Reports**, v. 7, 4232, 2017.

ZANETTI, L. V.; MILANEZ, C. R. D.; GAMA, V. N.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; CAMPOSTRINI, E.; FIGUEIREDO, F. A. M. D. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51. n. 3, p. 215-223, 2016.

ZUCKER, M. Induction of phenylalanina deaminase by light and its relation to chlorogenic acid synthesis in potato tuber tissue. **Plant Physiology**, v. 40, p. 779-784, 1965.



### CAPÍTULO 3 Silício na preferência alimentar e na biologia de *Dione juno juno* (Lepidoptera: Nymphalidae) no maracujazeiro-azedo

#### RESUMO

O silício não é considerado um elemento essencial para as plantas, mas é agronomicamente útil pelos vários efeitos positivos que proporciona, como por exemplo, aumentando a resistência de plantas a pragas e doenças. Objetivou-se avaliar a influência do silício sobre as fases de vida de *Dione juno juno*, alimentadas de plantas de *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. adubadas com doses de silicato de cálcio ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) via solo (Experimento 1) e AgriSil® ( $\text{SiO}_2$ ) foliar (Experimento 2). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 12 repetições, com 3 lagartas/repetição para o teste sem chance de escolha; 5 tratamentos e 8 repetições, com 10 lagartas/repetição para o teste com chance de escolha; 5 tratamentos e 3 repetições, com 20 indivíduos/repetição para as análises de biologia da lagarta. As variáveis analisadas das lagartas foram: ganho de peso (g), sobrevivência, consumo foliar ( $\text{mm}^2$ ), número de lagartas/tratamento, peso total (g) no quinto instar, peso médio (g) e duração (dias); das pupas: duração (dias) e sobrevivência; fase adulta: tamanho (cm), envergadura (cm) e longevidade (dias). No teste sem chance de escolha, silicato de cálcio na dose de  $5 \text{ g Si.vaso}^{-1}$  resultou em menor ganho de biomassa, para AgriSil as doses de 0 e  $4 \text{ g.L}^{-1}$  conferiram, simultaneamente, menor área foliar consumida e redução da biomassa das lagartas; no teste com chance de escolha, todas as doses de silicato de cálcio proporcionaram menor visitação e consumo; em relação à morfologia do adulto, o silicato de cálcio nas doses de 5 e  $10 \text{ g Si.vaso}^{-1}$  ocasionou adultos menores em tamanho e envergadura, e a dose de  $7,5 \text{ g Si.vaso}^{-1}$  em menor longevidade dos mesmo. Concluiu-se que o silicato de cálcio tem efeitos superiores em relação ao AgriSil no controle de *D. juno juno*, sendo as doses de 5; 7,5 e  $10 \text{ g Si.vaso}^{-1}$  as de melhor desempenho.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Adubação. Silicato de cálcio. AgriSil. Lagarta.

## ABSTRACT

Silicon is not considered an essential element for plants, but is agronomically useful for the various positive effects it provides, such as increasing plant resistance to pests and diseases. The objective of this study was to evaluate the influence of silicon on the life stages of *Dione juno juno* fed on *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) via soil (Experiment 1) and AgriSil® ( $\text{SiO}_2$ ) foliar (Experiment 2). The design was a completely randomized design, with 5 treatments and 12 replicates, with 3 caterpillars/replicate for the test with no chance of choice; 5 treatments and 8 replicates, with 10 caterpillars/replicate for the test with a choice; 5 treatments and 3 replicates, with 20 individuals/replicate for the biology analyzes of the caterpillar. The variables analyzed were: weight gain (g), survival, foliar consumption ( $\text{mm}^2$ ), number of caterpillars/treatment, total weight (g) in the fifth instar, mean weight (g) and duration (days); of pupae: duration (days) and survival; adult phase: size (cm), wingspan (cm) and longevity (days). In the test with no chance of choice, calcium silicate at a dose of 5 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  resulted in lower biomass gain, for Agrisil the doses of 0 and 4  $\text{g.L}^{-1}$  conferred both reduced leaf area consumed and reduction of biomass of caterpillars; in the test with a chance of choice, all doses of calcium silicate provided less visitation and consumption; in relation to the adult morphology, calcium silicate at doses of 5 and 10 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  caused smaller adults in size and wingspan, and the dose of 7.5 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  in less longevity of the same ones. It is concluded that calcium silicate has superior effects in relation to Agrisil in the control of *D. juno juno*, with doses of 5; 7,5 and 10 g  $\text{Si.pot}^{-1}$  the best performance.

**Keywords:** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Fertilization. Calcium silicate. Agrisil. Caterpillar.

## 1 INTRODUÇÃO

O silício (Si) atua na proteção de plantas induzindo defesas físicas, nutricionais e bioquímicas, podendo ser uma alternativa para reduzir o uso de inseticidas sintéticos que representam risco aos inimigos naturais do inseto-praga e polinizadores naturais da cultura.

A proteção física conferida às plantas pelo Si, pode ser atribuída ao acúmulo e polimerização de sílica nas células epidérmicas, abaixo da cutícula, formando uma barreira mecânica conhecida como dupla camada silício-cutícula (GOUSSAIN et al., 2002; MA; TAKAHASHI, 2002). Essa barreira dificulta a mastigação pelos insetos, devido ao endurecimento da parede das células vegetais (DATNOFF; SNYDER; KORNDORFER, 2001).

Os altos teores de sílica na planta além de aumentarem a capacidade de defesa contra a herbivoria (JUMA et al., 2015), podem afetar a preferência alimentar dos insetos-praga (NASCIMENTO et al., 2014; HE et al., 2015), sendo muito importante para redução dos danos.

Como defesa nutricional, pode afetar a dieta dos insetos, de modo que não consigam ingerir quantidade suficiente de nutrientes (carboidratos e nitrogênio) e água (SMITH; NELSON; BOGGINO, 1991; PANDA; KUSH 1995; MASSEY; HARTLEY, 2006), assim como a redução na eficiência da conversão alimentar do inseto (MASSEY; HARTLEY, 2009). O desempenho dos insetos pode ser promovido por altos níveis de nitrogênio (N) na dieta, e o incremento de Si se torna benéfico pois neutraliza o efeito do N (CHU; HORNG, 1991; MEYER; KEEPING, 2005).

O Si também pode proteger a planta pelas defesas bioquímicas, incluindo o acúmulo de lignina, compostos fenólicos, fitoalexinas e enzimas (GOMES et al., 2005, MA; YAMAJI, 2006; HAN et al., 2016).

Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito do silício na preferência alimentar e na biologia de *Dione juno juno* (Lepidoptera: Nymphalidae).

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Instalação dos experimentos**

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no Laboratório de Resistência de Plantas e MIP do Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

O plantio do material vegetal, as fontes e as formas de aplicação de silício foram realizadas conforme relatado no subtópico 2.1, do capítulo 2.

As folhas contendo ovos do inseto foram coletadas na área experimental de maracujazeiro da Universidade Federal de São João del-Rei, no município de Sete Lagoas, Minas Gerais. Foram acondicionadas em recipientes plásticos e transportadas em caixa de isopor.

### **2.2 Bioensaios com *D. juno juno***

#### **2.2.1 Teste sem chance de escolha**

Cinquenta e quatro dias após a última pulverização de silício, as seções foliares foram utilizadas para alimentação das lagartas nos bioensaios, sem, e com chance de escolha.

O teste sem chance de escolha foi realizado em placa de Petri de 5 cm de diâmetro, utilizando uma seção foliar cortada com vazador circular de 34 mm de diâmetro (908 mm<sup>2</sup>), destacadas de folhas do terço médio das plantas provenientes dos vasos, sobre uma camada de papel filtro umedecido com água destilada, para que a turgescência destas fosse mantida.

Em cada placa foram colocadas 3 lagartas neonatas, pesadas em conjunto com auxílio de balança de precisão antes e após o ensaio, para avaliação do ganho de peso (g).

As placas foram mantidas em sala climatizada regulada com temperatura de 25±2 °C, umidade relativa 70±10% e fotofase de 12 horas.

Para esse teste foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos (discos foliares provenientes dos tratamentos com silício) e 12 repetições para cada experimento (com silicato de cálcio, via solo, e Agrisil, via foliar). Foram avaliados o ganho de peso (g), sobrevivência das lagartas e o consumo foliar (mm<sup>2</sup>) após 5 dias, utilizando-se o medidor de área foliar AM300 (ADC Bioscientific Ltd, England).

### 2.2.2 Teste com chance de escolha

O teste com chance de escolha foi realizado com lagartas de 2 dias de idade e seções foliares de 40 mm de diâmetro (1256 mm<sup>2</sup>), obtidas com vazador de metal, de cada um dos cinco tratamentos, dispostas aleatoriamente em placas de Petri de 13 cm de diâmetro, com fundo revestido com papel filtro umedecido com água destilada. As cinco seções foliares foram distribuídas aleatoriamente e equidistantes, permitindo a livre escolha pelas lagartas. Foram liberadas 10 lagartas no centro de cada placa, conforme metodologia adaptada de Nascimento et al. (2014).

Para o teste com chance de escolha foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos (discos foliares provenientes dos tratamentos com silício) e 8 repetições para cada experimento (com silicato de cálcio, via solo, e Agrisil, via foliar). Após 6, 30 e 48 horas da montagem do experimento, foram contabilizadas as lagartas encontradas em cada tratamento, e as que se encontravam fora dos discos foliares, adaptado de Costa e Moraes (2006). Ao final das 48 horas também foi avaliada a área foliar (mm<sup>2</sup>) consumida pelas lagartas, utilizando-se o medidor de área foliar AM300.

### 2.2.3 Silício na biologia de *D. juno juno*

O teste de biologia foi realizado com 20 lagartas neonatas liberadas em conjunto em gaiolas cilíndricas confeccionadas de tecido de organza (0,85 m de altura x 0,85 m de circunferência) em casa de vegetação. As gaiolas foram posicionadas no terço médio de cada planta contida nos vasos, sendo usadas 3 plantas de cada tratamento como repetições. Essas plantas receberam irrigação diariamente.

Para este bioensaio foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 3 repetições, compostas de 20 lagartas cada, sendo avaliados os seguintes parâmetros biológicos:

Na fase larval: foram determinados o peso total (g) das lagartas do quinto instar, peso médio (g), e duração da fase larval (dias), considerada até 50% das lagartas da gaiola empuparem. Durante a fase de pupa, as variáveis analisadas foram, duração (dias) e a sobrevivência.

À medida que os adultos emergiam, os mesmos eram capturados em recipientes plásticos com tampa, identificados e levados ao laboratório. Cada adulto foi mantido em

gaiola de tubo de PVC (15 cm de altura x 15 cm de diâmetro) individualizada e coberta com tecido de organza, em sala climatizada regulada com temperatura de  $25 \pm 2$  °C, umidade relativa  $70 \pm 10\%$  e fotofase de 12 horas. Os adultos foram alimentados mediante algodão hidrófilo embebido em solução de mel (10%), colocados em recipientes plásticos. As variáveis analisadas durante a fase adulta foram, tamanho (cm), envergadura (cm) e longevidade (dias).

### 2.3 Análises estatísticas

Todas as variáveis tiveram, para os dois experimentos, normalidade de resíduos e homocedasticidade de variâncias testados, garantindo o uso da estatística paramétrica, ANOVA one-way (com um fator) para avaliar a nulidade de efeito dos tratamentos, considerando-se o nível de significância de 5%. Para cada variável com resultado significativo, foram aplicados Intervalos de Confiança de 95% (IC95%) como alternativa para comparações *a posteriori*. O teste *a posteriori* com o IC95% denota semelhanças estatísticas quando há sobreposição de um intervalo de confiança de um tratamento sobre a média de outro tratamento. A não sobreposição denota, por outro lado, diferença estatística significativa. Todos os resultados destes testes foram apresentados visualmente nos gráficos, facilitando a sua interpretação. Os intervalos de confiança são assim construídos:

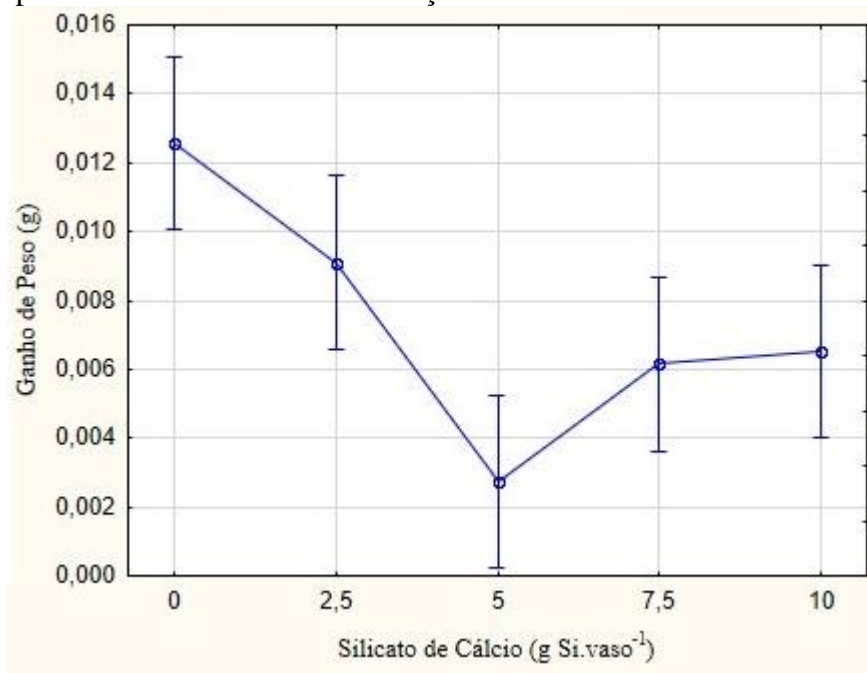
$$\left( \bar{x} - 1.96 \times \frac{s}{\sqrt{n}} , \bar{x} + 1.96 \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right). \quad (2)$$

Todos os testes estatísticos foram realizados no software TIBCO Statistica (data analysis software system), version 13, licença JPZ804I376009FA-9.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No teste sem chance de escolha, não se observou diferença significativa na área foliar consumida de maracujazeiro pelas lagartas para a fonte silicato de cálcio ( $F_{(4,55)} = 1,857$ ;  $p=0,130$ ), porém, houve efeito do silício no ganho de peso larval ( $F_{(4,55)} = 8,484$ ;  $p<0,001$ ), sendo a testemunha, o tratamento que proporcionou maior biomassa das lagartas, diminuindo o valor dessa variável mediante incremento da dose até 5 g Si.vaso<sup>-1</sup>, dose que proporcionou o menor ganho de peso no intervalo estudado, a partir daí houve um leve ganho nas doses de 7,5 e 10 g Si.vaso<sup>-1</sup> (FIGURA 17).

Figura 17 - Ganho de peso das lagartas alimentadas com discos foliares de *P. edulis* adubados com doses de silicato de cálcio, no teste sem chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

O menor ganho de peso obtido com a dose de 5 g Si.vaso<sup>-1</sup>, condiz com o resultado obtido na análise da atividade da fenilalanina amônia liase (PAL), onde o mesmo tratamento ocasionou maior atividade da enzima. Sabe-se que a PAL está envolvida na biossíntese de compostos fenólicos, fitoalexinas e ligninas (YANG et al., 2017), compostos que atuam negativamente no inseto.

Panda e Kush (1995) explicam que níveis elevados de silício podem aumentar a densidade da dieta, de modo que os insetos não consigam ingerir quantidades suficientes de

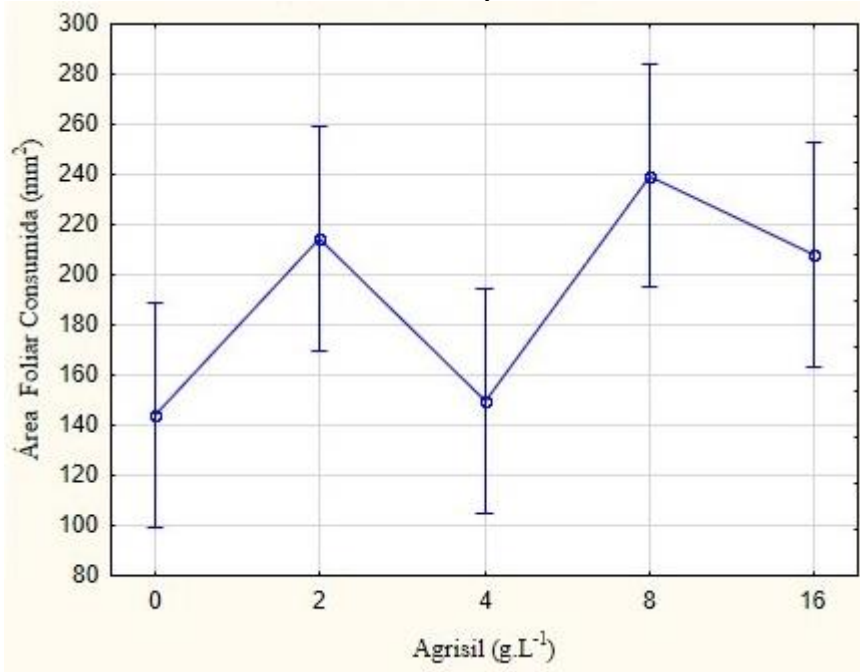
nutrientes e água. Apesar de não haver diferença no consumo no presente estudo, há no ganho de peso, corroborando a afirmação apresentada.

Outras pesquisas reforçam a hipótese apresentada, pois, Massey e Hartley (2009) verificaram que o silício reduziu tanto a eficiência com a qual *Spodoptera exempta* Walker (Lepidoptera, Noctuidae) converteu o alimento ingerido em massa corporal quanto a quantidade de nitrogênio absorvida da dieta, também resultando em menor crescimento dos insetos.

O aumento do consumo de material vegetal como resultado de má qualidade da dieta foi relatado por Massey, Ennos e Hartley (2006), denotando que gafanhoto *Schistocerca gregaria* Forskal (Orthoptera, Acrididae) tem a capacidade para tal, o que não foi observado em *S. exempta*.

Para Agrisil, houve efeito significativo na área foliar consumida ( $F_{(4,55)} = 3,583$ ;  $p=0,011$ ), sendo as doses de 2, 8 e 16  $\text{g.L}^{-1}$  os tratamentos com maior consumo, a testemunha e o tratamento de 4  $\text{g.L}^{-1}$  foram igualmente menos consumidos (FIGURA 18).

Figura 18 - Área foliar consumida de *P. edulis*, adubados com doses de Agrisil, teste sem chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



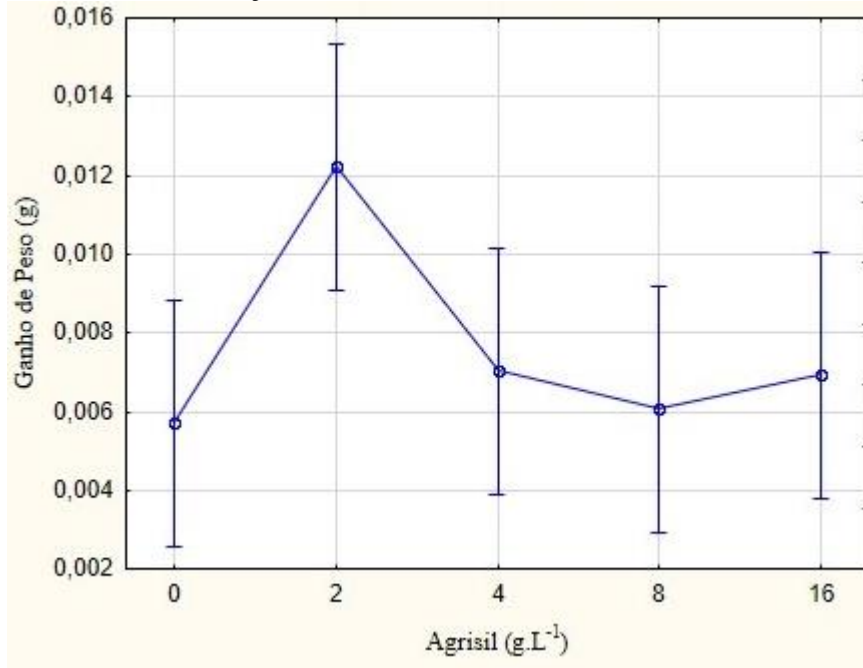
Fonte: Do autor (2018).

Houve efeito também no ganho de peso das lagartas para a fonte Agrisil ( $F_{(4,55)} = 2,875$ ;  $p=0,031$ ), sendo os tratamento de 0, 4, 8 e 16  $\text{g.L}^{-1}$  os que proporcionaram menor ganho (FIGURA 19).



Guével, Menzies e Bélanger (2017) concluíram que o silício é, principalmente, se não, exclusivamente, absorvido pelo sistema radicular e que tal absorção pelas raízes é necessária para um efeito profilático ótimo, tendo em vista que os resultados obtidos por adubação foliar são controversos.

Figura 19 - Ganho de peso das lagartas alimentadas com discos foliares de *P. edulis* adubados com doses de Agrisil, no teste sem chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

No presente estudo, as doses de 0 e 4 g.L<sup>-1</sup> conferiram, simultaneamente, menor área foliar consumida e redução da biomassa das lagartas, afetando sua preferência alimentar.

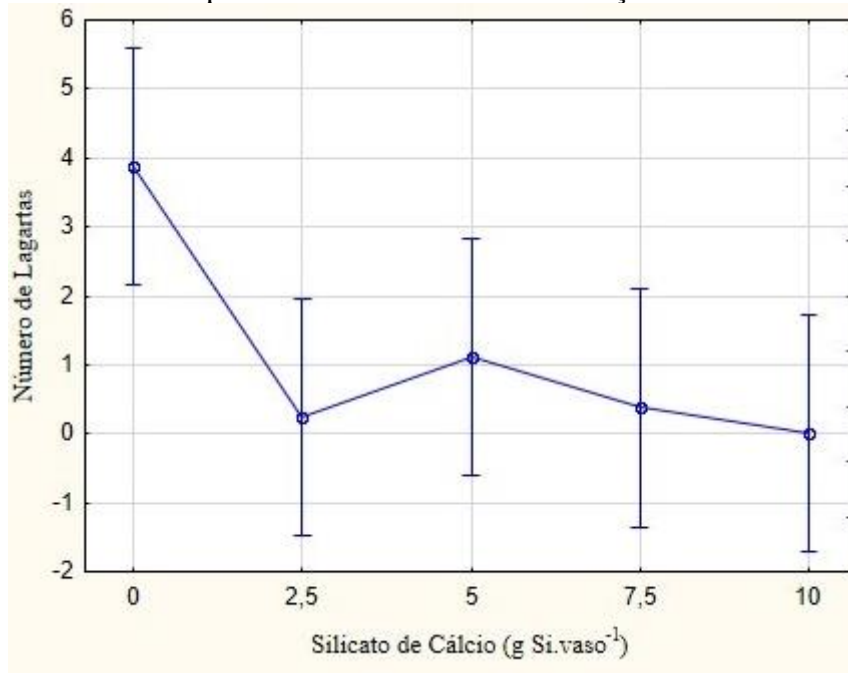
Nascimento et al. (2018), estudando o efeito da aplicação de silício (via solo e foliar) em arroz, no desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), também obtiveram correlação negativa entre o incremento de silício com a área foliar consumida (em ambas as fontes) e o peso das lagartas (via foliar).

No que diz respeito a sobrevivência das lagartas, ambas as fontes de silício utilizadas não apresentaram efeito significativo na mortalidade da fase jovem dos insetos. Neste contexto, embora esperava-se mortalidade acentuada e significativa dos insetos em função da redução da área foliar consumida (silicato de cálcio) e do peso das lagartas (silicato de cálcio e Agrisil), as mesmas apresentaram comportamento contraditório.

No teste com chance de escolha, para a fonte silicato de cálcio, houve diferença significativa no número de lagartas presentes nos discos foliares dos diferentes tratamentos ao

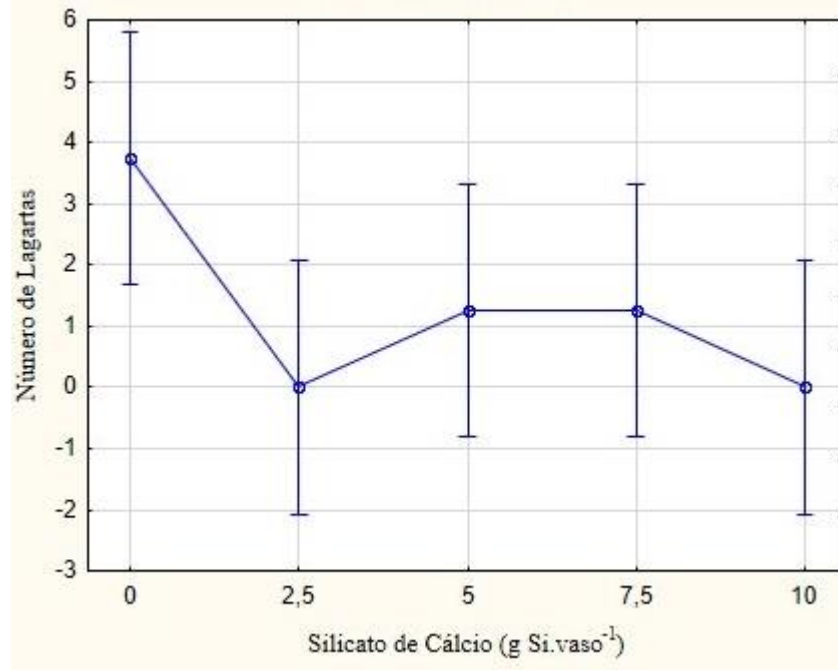
longo do tempo. Observa-se que o primeiro ( $F_{(4,35)} = 3,534$ ;  $p=0,015$ ) e segundo dia ( $F_{(4,35)} = 2,2559$ ;  $p=0,082$ ) de avaliação (FIGURAS 20 e 21), as lagartas preferiram a testemunha em relação as demais doses.

Figura 20 - Número de lagartas presentes nos discos foliares dos tratamentos de adubação com silicato de cálcio, 6 horas após o início do teste com chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

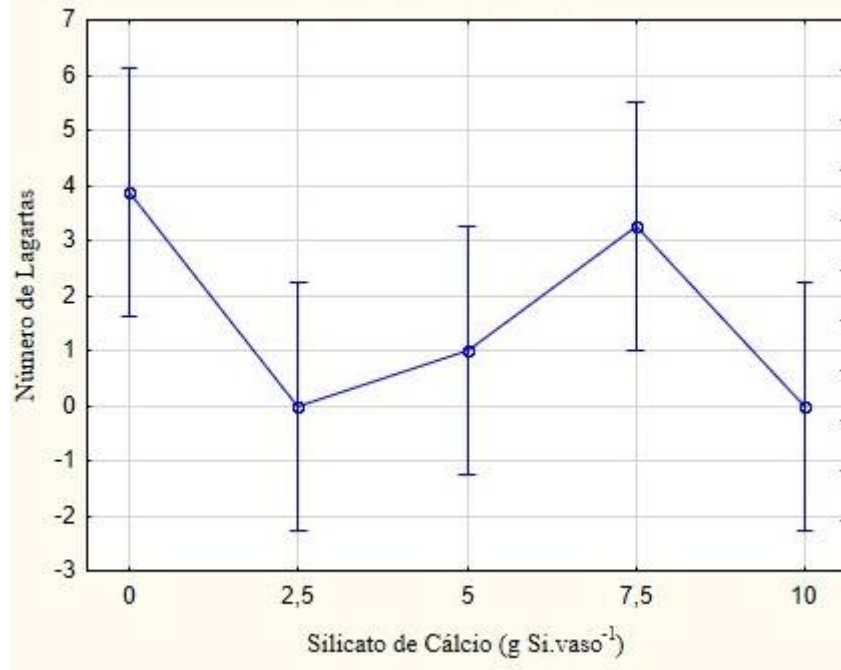
Figura 21 - Número de lagartas presentes nos discos foliares dos tratamentos de adubação com silicato de cálcio, 30 horas após o início do teste com chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

No terceiro dia de avaliação ( $F_{(4,35)} = 2,703$ ;  $p=0,046$ ) as lagartas apresentaram maior preferência pelos discos foliares tratados com a dose de 7,5 g Si.vaso<sup>-1</sup> e também na testemunha (FIGURA 22), entretanto, essa preferência não influenciou no consumo foliar do tratamento com silício.

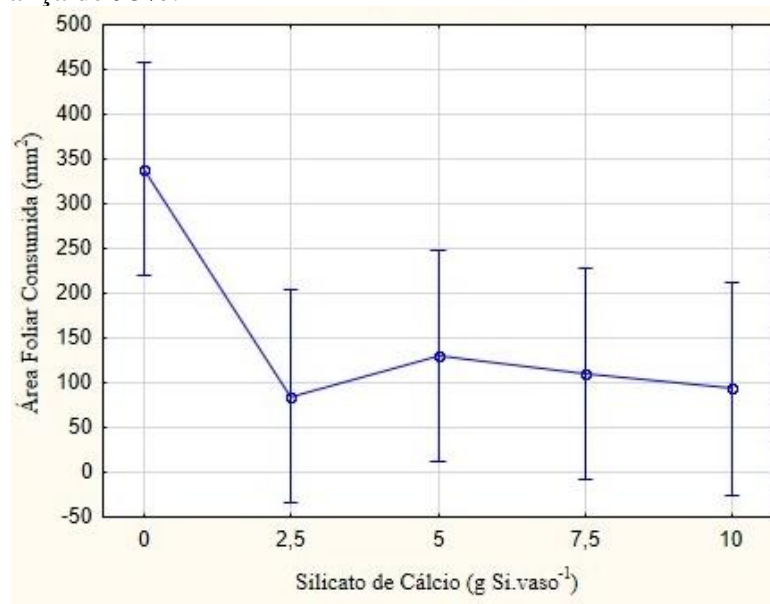
Figura 22 - Número de lagartas presentes nos discos foliares dos tratamentos de adubação com Silicato de Cálcio, 48 horas após o início do teste com chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%



Fonte: Do autor (2018).

A testemunha proporcionou maior consumo foliar em relação às demais doses, sendo este quase quatro vezes superior (FIGURA 23).

Figura 23 - Área foliar consumida de *P. edulis*, adubados com diferentes doses de silicato de cálcio, teste com chance de escolha. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Os resultados de preferência de lagartas nos diferentes tratamentos e da área foliar consumida, coincidem perfeitamente com a presença de silício na parte aérea previamente exposta, apontando estreita relação entre essas variáveis.

Massey, Ennos e Hartley (2006), estudando as espécies desfolhadoras lagarta-africana *S. exempta* e o gafanhoto-do-deserto *S. gregaria* em gramíneas suplementadas com silício, também encontraram resultado significativo, onde a adição do nutriente provocou deterrência em ambos insetos, diminuindo o consumo em testes de escolha.

Embora se trate de um inseto sugador, Souza et al. (2016), encontraram efeito de não preferência do percevejo-marrom *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) em soja, quando o silício agiu em sinergia com cultivares resistentes. O resultado do presente trabalho é ainda mais animador, pois o *P. edulis* não é resistente a *D. juno juno*, portanto, o efeito da não preferência é exclusivo da adubação com silicato de cálcio.

Callis-Duehl et al. (2017), estudando a preferência de *Diabrotica balteata* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae) e *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) em plantas de pepino (*Cucumis sativa* L.) adubadas com silício, em testes com chance de escolha, concluíram que os níveis de silício contidos no estudo têm efeito deterrente sobre esses insetos, esses resultados reforçando a premissa de que o silício tem efeito significativo e pode ser usado no MIP.

Para a fonte de silício Agrisil, não houve diferença significativa no número de lagartas ( $F_{(4,35)} = 0,889$ ;  $p=0,480$ ) e na área foliar consumida ( $F_{(4,35)} = 1,557$ ;  $p=0,207$ ) dos diferentes tratamentos. Resultado que corrobora a afirmação de Guével, Menzies e Bélanger (2007) exposta anteriormente.

Em relação aos aspectos biológicos, as variáveis avaliadas na fase larval, como peso total (g) das lagartas do 5º ínstar ( $F_{(4,10)} = 1,375$ ;  $p=0,309$ ), ( $F_{(4,10)} = 1,466$ ;  $p=0,283$ ); peso médio (g) ( $F_{(4,10)} = 1,745$ ;  $p=0,216$ ), ( $F_{(4,10)} = 1,170$ ;  $p=0,380$ ); duração da fase larval (dias) ( $F_{(4,10)} = 1,540$ ;  $p=0,263$ ), ( $F_{(4,10)} = 0,459$ ;  $p=0,763$ ) e mortalidade ( $F_{(4,10)} = 0,248$ ;  $p=0,904$ ), ( $F_{(4,10)} = 0,579$ ;  $p=0,684$ ) não foram estatisticamente significantes para silicato de cálcio e Agrisil, respectivamente.

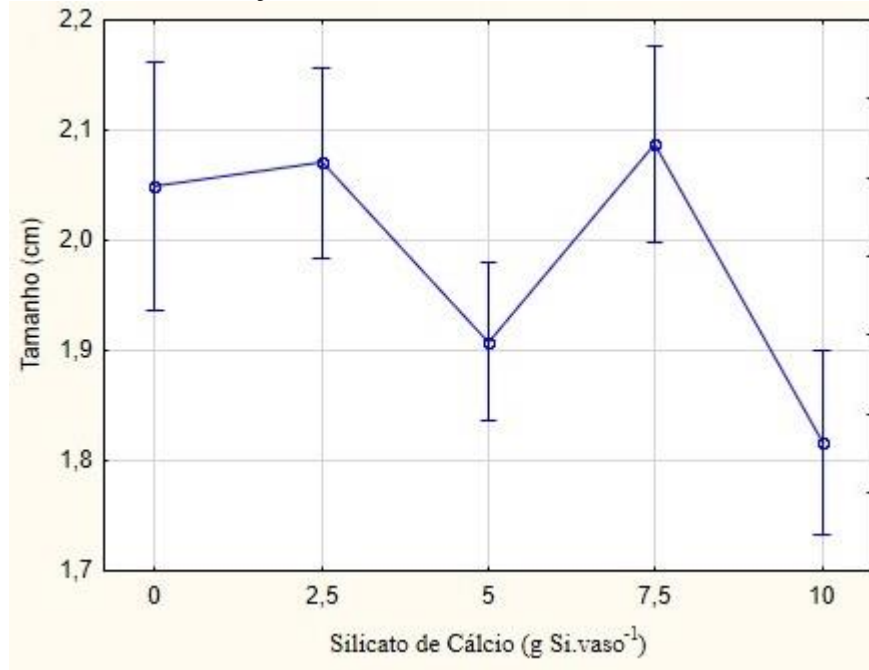
As variáveis da fase pupal como, duração (dias) ( $F_{(4,10)} = 1,092$ ;  $p=0,411$ ), ( $F_{(4,10)} = 0,518$ ;  $p=0,724$ ) e sobrevivência ( $F_{(4,10)} = 2,686$ ;  $p=0,093$ ), ( $F_{(4,10)} = 0,675$ ;  $p=0,624$ ) também não foram significativas para silicato de cálcio e Agrisil, respectivamente.

Em relação aos valores não significativos semelhantes aos obtidos por Santos et al. (2012) para silício aplicado via solo, porém, diferindo-se em relação ao silício via foliar, o

estudo em questão concluiu que os tratamentos de silício aplicados na folha ocasionaram aumento na duração das fases larval e pupal, diminuição na sobrevivência de lagartas e pupas, diminuição do peso de pupas machos e fêmeas e diminuição na preferência de oviposição de traça-do-tomateiro *Tuta Absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) em tomateiro.

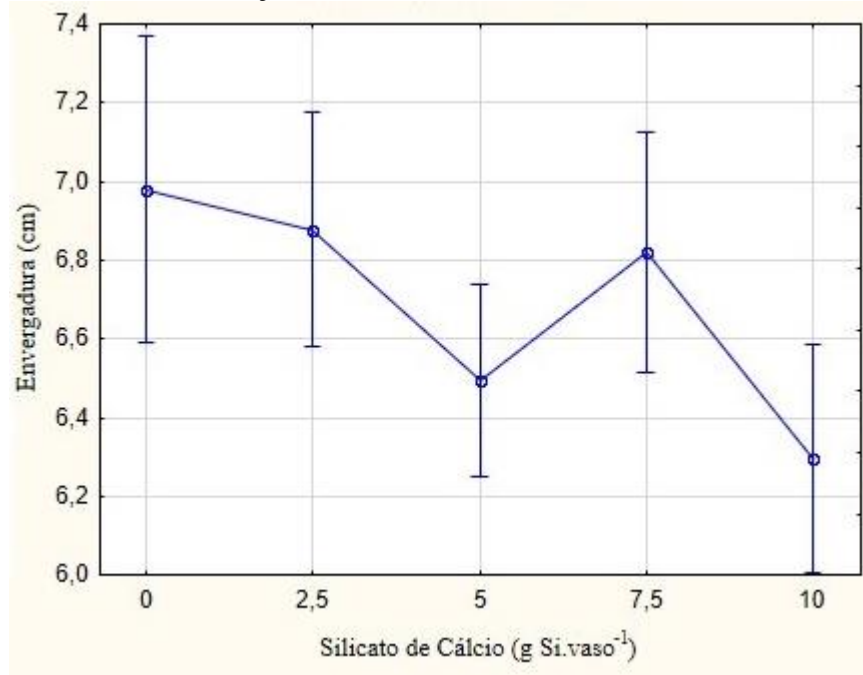
Em relação a morfologia, apenas para a fonte silicato de cálcio foram obtidos resultados significativos, no qual os tratamentos de 5 e 10 g Si.vaso<sup>-1</sup> resultaram em adultos menores no tamanho ( $F_{(4,81)} = 7,599$ ;  $p < 0,001$ ) e envergadura ( $F_{(4,81)} = 3,482$ ;  $p = 0,011$ ) (FIGURAS 24 e 25).

Figura 24 - Tamanho final de adultos de *D. juno juno*, cujas lagartas foram alimentadas de *P. edulis* adubados com doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

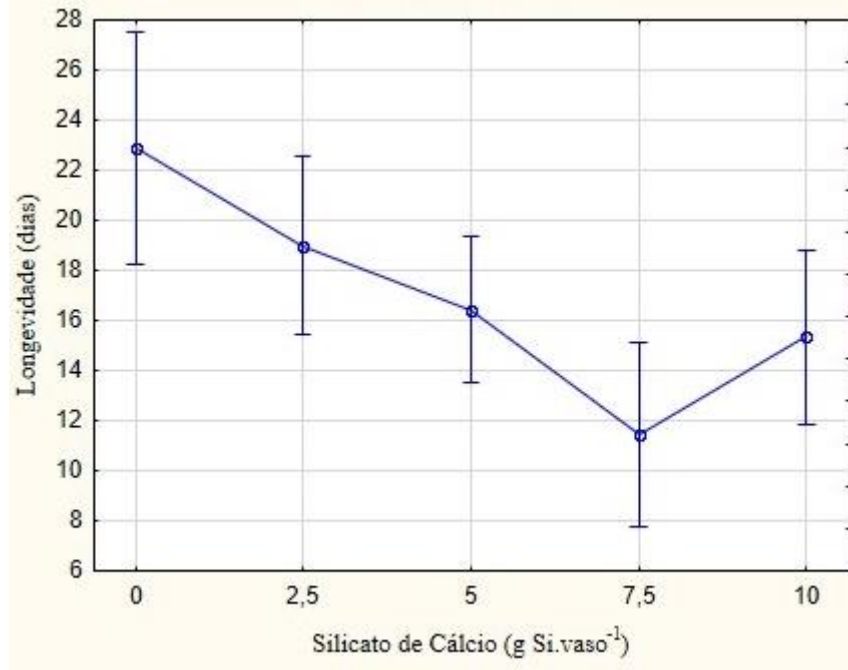
Figura 25 - Envergadura final de adultos de *D. junco junco*, cujas lagartas foram alimentadas de *P. edulis* adubados com doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Por fim, a variável sobrevivência (dias) foi significativa apenas para silicato de cálcio ( $F_{(4,81)} = 4,357$ ;  $p=0,003$ ), a testemunha e a dose de 2,5 g Si.vaso<sup>-1</sup> proporcionaram mais dias de sobrevivência aos adultos, a dose de 5 g Si.vaso<sup>-1</sup> foi estatisticamente igual as de 2,5 e 10 g Si.vaso<sup>-1</sup>; a dose de 7,5 g Si.vaso<sup>-1</sup> foi a que mais impactou negativamente a longevidade dos adultos (FIGURA 26).

Figura 26 - Longevidade de adultos de *D. juno juno*, cujas lagartas foram alimentadas de *P. edulis* adubados com doses de silicato de cálcio. Barras verticais representam intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

Para Agrisil, tamanho (cm) ( $F_{(4,55)} = 1,530$ ;  $p=0,206$ ), envergadura (cm) ( $F_{(4,55)} = 0,444$ ;  $p=0,775$ ) e longevidade (dias) ( $F_{(4,55)} = 1,530$ ;  $p=0,206$ ) não foram estatisticamente significativos.

Os resultados sobre o adulto de *D. juno juno* apresentam relação com o teor de silício da parte aérea das plantas de maracujazeiro-azedo adubadas com silicato de cálcio, sendo a doses de 10 g Si.vaso<sup>-1</sup>, a que apresentou maior teor do elemento, com as doses de 5 e 7,5 g Si.vaso<sup>-1</sup> em nível intermediário para essa variável.

As diferenças de resultados entre as fontes de silício se devem à capacidade que as plantas têm de absorver o elemento pelas raízes, através de um sistema de captação eficiente mediado por um transportador de influxo, denominado Lsi1, e um transportador de efluxo denominado Lsi2 (MA, 2010). Desde a descoberta destes transportadores, alguns trabalhos identificaram homólogos em plantas primitivas e superiores conhecidas pela sua capacidade de absorver Si (DESHMUKH et al., 2013; GRÉGOIRE et al., 2012; MONTPETIT et al., 2012).

Diante da atual necessidade de se encontrar alternativas ao uso de agroquímicos no manejo integrado de pragas, o silicato de cálcio nas doses de nas doses 5; 7,5 e 10 g Si.vaso<sup>-1</sup>, apresentou desempenho interessante, tanto na preferência quanto no consumo foliar na fase



larval, além de influenciar negativamente nas características morfológicas e longevidade de adultos de *D. juno juno*, o que diminui a perspectiva de reprodução e crescimento populacional da espécie.

#### **4 CONCLUSÕES**

- a) Para a fonte aplicada no solo (silicato de cálcio)
- Proporcionou menor ganho de biomassa no teste sem chance de escolha;
  - Menor preferência e consumo foliar no teste com chance de escolha;
  - Menor porte e longevidade dos adultos;
  - A calagem com o silicato de cálcio ao invés de calcário acrescenta os benefícios do silício contra a praga-chave.
- b) Para a fonte foliar (Agrisil):
- Não tem efeito sobre o inseto.

## REFERÊNCIAS

- 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. **Journal of Horticultural Research**, v. 25, n. 1, p. 89-98, 2017.
- CHU, Y. I.; HORNG, S. B. Infestation and reproduction of Asia corn borer on slag-treated corn plants. **Chinese Journal of Entomology**, v. 11, p. 19-24, 1991.
- COSTA R. R.; MORAES, J. C. Efeitos do Ácido Silícico e do Acibenzolar-S-Methyl sobre *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) em Plantas de Trigo. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 6, p. 834-839, 2006.
- DATNOFF, L.E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. São Paulo: Elsevier, 2001.
- DESHMUKH, R. K.; VIVANCOS, J.; GUÉRIN, V.; SONAH, H.; LABBÉ, C.; BELZILE, F.; BÉLANGER, 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**, v. 83, p. 303-315, 2013.
- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p.547-551, 2005.
- GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico de lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.
- GRÉGOIRE, C.; RÉMUS-BOREL, W.; VIVANCOS, J.; LABBÉ, C.; BELZILE, F.; BÉLANGER, R.R. Discovery of a multigene family of aquaporin silicon transporters in the primitive plant *Equisetum arvense*. **The Plant Journal**, v. 72, p. 320-330, 2012.
- GUÉVEL, M. H.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, v. 119, p. 429-436, 2017.
- HAN, Y.; LEI, W.; WEN, L.; HOU, M. Defense responses in rice induced by silicon amendment against infestation by the leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **PloS one**, v. 10, n. 4, 2016.
- HE, W.; YANG, M.; LI, Z.; QUI, J.; LIU, F.; QU, X.; QIU, Y.; LI, R. High levels of silicon provided as a nutrient in hydroponic culture enhances rice plant resistance to brown planthopper. **Crop Protection**, v. 67, p. 20-25, 2015.
- JUMA, G.; AHUYA, P. O.; ONG'AMO, G.; LE RU, B.; MAGOMA, G.; SILVAIN, J. F.; CALATAYUD, P. A. Influence of plant silicon in *Busseola fusca* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae–Poaceae interactions. **Bulletin of entomological research**, v. 105, n. 2, p. 253-258, 2015.

- MA, J. F. Silicon transporters in higher plants. In: **MIPs and Their Role in the Exchange of Metalloids**. In: JAHN, P.T; BIENERT, G.P. (Eds.) New York: Springer, 2010. p. 99-109.
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier, 2002.
- MA, J.F.; YAMAJI, N. A silicon transporter in rice. **Nature**, London, v. 440, p. 688-691, 2006.
- MASSEY, F. P.; ENNOS, A. R.; HARTLEY, S. E. Silica in grasses as a defence against insect herbivores: Contrasting effects on folivores and a phloem feeder. **Journal of Animal Ecology**, v. 75, p. 595-603, 2006.
- MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Experimental demonstration of the antiherbivore effects of silica in grasses: impacts on foliage digestibility and vole growth rates. Proceedings of the Royal Society B. **Biological Sciences**, v. 273, p. 2299-2304, 2006.
- MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, v. 78, p. 281-291, 2009.
- MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Impact of silicon in alleviating biotic stress in sugarcane in South Africa. **International Sugar Journal**, v. 23, p. 14-18, 2005.
- MONTPETIT, J.; VIVANCOS, J.; MITANI-UENO, N.; YAMAJI, N.; RÉMUS-BOREL, W.; BELZILE, F.; MA, J. F.; BÉLANGER, R. R. Cloning, functional characterization and heterologous expression of TaLsi1, a wheat silicon transporter gene. **Plant Molecular Biology**, v. 79, p. 35-46, 2012.
- NASCIMENTO, A. M.; ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; SAKOMURA, R. Não preferência a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) induzida em arroz pela aplicação de silício. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 215-218, 2014.
- NASCIMENTO, A. M.; ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; SOUZA, B. H. S. Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). **Journal of Applied Entomology**, v. 142, p. 241-249, 2018.
- PANDA, N.; KUSH, G. S. **Host plant resistance to insects**. Wallingford: CAB International, 1995.
- SANTOS, M. C.; JUNQUEIRA, A. M. R.; SÁ, V. G. M.; ZANÚNCIO, J. C.; BAUCH, M. A.; SERRÃO, J. E. Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 76-88, 2012.
- SMITH, G. S.; NELSON, A. B.; BOGGINO, E. J. A. Digestibility of forages in-vitro as affected by content of silica. **Journal of Animal Science**, v. 33, p. 466-471, 1991.

SOUZA, P. V.; MACHADO, B. R.; ZANUNCIO, J. C.; ARAÚJO, M. S.; ALVES, G. C. S.; JESUS, F. G. Cultivation of resistant soybean varieties and application of silicon (Si) on biology of *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 10, p. 1404-1409, 2016.

YANG, L.; HAN, Y.; LI, P.; WEN, L.; HOU, M. Silicon amendment to rice plants impairs sucking behaviors and population growth in the phloem feeder *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). **Scientific Reports**, v. 7, p. 1101, 2017.