

## Modo de aplicação de silício e aspectos microscópicos em tomate tipo cereja

Application method of silicon and microscopic aspects in cherry type tomatoes

Método de aplicación del silicio y aspectos microscópicos en tomate tipo cherry

Recebido: 10/10/2022 | Revisado: 20/10/2022 | Aceitado: 21/10/2022 | Publicado: 26/10/2022

**Anelisa de Aquino Vidal Lacerda Soares<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5505-1433>

Unidade Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Bauru, Brasil

E-mail: [avidal@sp.gov.br](mailto:avidal@sp.gov.br)

**Fernanda de Paiva Badiz Furlaneto<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0091-9968>

Unidade Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Marília, Brasil

E-mail: [fernanda.furlaneto@sp.gov.br](mailto:fernanda.furlaneto@sp.gov.br)

**Karine Teles Giroto<sup>2</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8953-0574>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: [karine.tg15@hotmail.com](mailto:karine.tg15@hotmail.com)

**Rosemary Marques de Almeida Bertani<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3536-2629>

Unidade Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Bauru, Brasil

E-mail: [rosemary.bertani@sp.gov.br](mailto:rosemary.bertani@sp.gov.br)

**Angélica Cristina Fernandes Deus<sup>3</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3807-7308>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: [angeldeys@hotmail.com](mailto:angeldeys@hotmail.com)

**Maurício Dominguez Nasser<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4239-5958>

Unidade Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Adamantina, Brasil

E-mail: [mauricio.nasser@sp.gov.br](mailto:mauricio.nasser@sp.gov.br)

### Resumo

Avaliou-se o desenvolvimento e a produtividade de tomateiros tipo cereja submetidos a diferentes modos de aplicação de silício, bem como os efeitos dessa adubação sobre o acúmulo de silício nas plantas em cultivo sem solo. Trata-se de pesquisa de campo de natureza quantitativa. Os tratamentos compreenderam: plantas com aplicação de silício foliar, plantas que receberam silício no substrato comercial, plantas adubadas com silício foliar e no substrato comercial, além da testemunha (sem aplicação de silício). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso. O fornecimento de macro e micronutrientes ocorreu via fertirrigação. Na folha diagnose realizou-se leitura de clorofila total e clorofila *a* e *b*. Analisou-se, ainda, a massa fresca e seca da parte aérea, número e peso dos frutos, inflorescência e altura das plantas. Determinou-se o teor e acúmulo de silício na superfície das folhas coletadas no terço médio da planta e epicarpo do fruto. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância aplicando-se o teste de F e Tukey a 5% de probabilidade, quando os resultados foram significativos. Concluiu-se que a aplicação de silício, independente do modo aplicado, não diferiu da testemunha em todos os parâmetros avaliados. A aplicação de silício foliar favoreceu o aumento de tricomas nas folhas sugerindo maior proteção contra herbivoria. Recomenda-se a realização de outras pesquisas com variadas fontes e concentrações de silício visando identificar a resposta das plantas e estabelecer a ação deste elemento na produção do tomate tipo cereja.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum*; Tomateiro; Adubação silicatada; Silicato; Vias de aplicação.

### Abstract

The development and yield of cherry tomato plants subjected to different modes of silicon application were evaluated, as well as the effects of this fertilization on the accumulation of silicon in plants in soilless cultivation. This is a field research of a quantitative nature. The treatments comprised: plants with foliar silicon application, plants that received silicon in the commercial substrate, plants fertilized with foliar silicon and in the commercial substrate, in addition to the control (without silicon application). The experimental design was in randomized blocks. The supply of macro and

<sup>1</sup> Pesquisador(a) Científico(a)

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma

<sup>3</sup> Docente

micronutrients occurred via fertigation. In the diagnosis leaf, total chlorophyll and chlorophyll *a* and *b* were read. The fresh and dry mass of shoots, number and weight of fruits, inflorescence and plant height were also analyzed. The content and accumulation of silicon on the surface of leaves collected in the middle third of the plant and fruit epicarp were determined. The data obtained were submitted to analysis of variance by applying the F and Tukey test at 5% probability, when the results were significant. It was concluded that the application of silicon, regardless of the applied mode, did not differ from the control in all parameters evaluated. The application of foliar silicon favored the increase of trichomes on the leaves, suggesting greater protection against herbivory. It is recommended to carry out further research with different sources and concentrations of silicon in order to identify the response of plants and establish the action of this element in the production of cherry tomatoes.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*; Tomato; Silicate fertilization; Silicate; Application pathways.

### Resumen

Se evaluó el desarrollo y rendimiento de plantas de tomate cherry sometidas a diferentes modos de aplicación de silicio, así como los efectos de esta fertilización sobre la acumulación de silicio en plantas en cultivo sin suelo. Se trata de una investigación de campo de carácter cuantitativo. Los tratamientos comprendieron: plantas con aplicación de silicio foliar, plantas que recibieron silicio en sustrato comercial, plantas fertilizadas con silicio foliar y en sustrato comercial, además del testigo (sin aplicación de silicio). El diseño experimental fue en bloques al azar. El suministro de macro y micronutrientes se produjo a través de la fertirrigación. En la hoja de diagnóstico se leyó clorofila total y clorofila *a* y *b*. También se analizó la masa fresca y seca de brotes, número y peso de frutos, inflorescencia y altura de planta. Se determinó el contenido y acumulación de silicio en la superficie de hojas recolectadas en el tercio medio de la planta y epicarpio de frutos. Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza aplicando la prueba de F y Tukey al 5% de probabilidad, cuando los resultados fueron significativos. Se concluyó que la aplicación de silicio, independientemente del modo aplicado, no difirió del control en todos los parámetros evaluados. La aplicación de silicio foliar favoreció el aumento de tricomas en las hojas, sugiriendo una mayor protección contra la herbivoría. Se recomienda realizar más investigaciones con diferentes fuentes y concentraciones de silicio para identificar la respuesta de las plantas y establecer la acción de este elemento en la producción de tomate cherry.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*; Tomate; Fertilización con silicatos; Silicato; Vías de aplicación.

## 1. Introdução

O tomateiro é uma das hortaliças mais cultivadas e consumidas no mundo. O grupo cereja constitui-se como um tomate para mesa com crescente aumento no seu consumo *in natura* (Costa et al., 2018). Possui tamanho pequeno, forma arredondada ou alongada e cor vermelho-brilhante, lembrando uma cereja (Rodrigues et al., 2016). Passou a ser consumido como fruta (igual à uva) por ser muito saboroso e adocicado. Enquanto o tomate tradicional possui °Brix entre 4 e 6, as variedades cereja ou tipo grape possuem doçura entre 9 e 12 °Brix, que indica a concentração de sólidos solúveis totais representados pelo teor de açúcar (Nunes et al., 2019).

Existem poucos estudos sobre o papel do silício (Si) na nutrição de espécies de plantas utilizadas na horticultura em comparação com culturas agrícolas como o arroz (Monzon et al., 2021). Em pesquisas com outras espécies de olerícolas, tais como pepino (D'Imperio et al., 2016; Yassen et al., 2017;), morango (Munaretto et. al, 2018) e tomate (Silva et al., 2012; Marodin et al., 2016), a absorção do silício mostrou-se relevante.

A aplicação de silício aumentou o rendimento e reduziu os frutos de tomate rachados/danificados (Marodin et al., 2014). Cinco aplicações de silicato potássio ao longo de 12 dias reduziu significativamente a severidade do oídio do tomate (Yanar et al., 2011) e aumento a resistência das plantas a doenças, que está associada com mecanismos ativos e ou passivos de absorção de silício (Ouellette et al., 2017). Frutos de tomate tratados com silício aumentaram a quantidade acumulada deste elemento, melhorando as características pós-colheita e propriedades físico-químicas (Marodin et al., 2016).

Todas as plantas contêm silício em diferentes concentrações de acordo com a espécie, variando de 10 a >100g kg<sup>-1</sup> em peso seco e são classificadas conforme sua capacidade de acúmulo nos órgãos e pela sua absorção. Tomateiros são considerados plantas não acumuladoras de silício (Ludwig et al., 2015; Bakhat et al., 2018) e o fornecimento via raiz pode não resultar em resposta a aplicação deste elemento para tal grupo de plantas visto que se trata de um elemento não móvel após ser

absorvido (Islam et al., 2018). Diante dessa informação, torna-se importante avaliar a aplicação de silício via foliar, considerando os benefícios já conhecidos na literatura com o seu uso nas culturas de importância econômica.

O silício pode ser fornecido pelas folhas e/ou raízes, sendo eficiente para aumentar o teor e acúmulo na planta. Fontes de silício com alta solubilidade são alternativas para a aplicação foliar (Santos et al., 2020), aumentando assim a capacidade de absorção e transporte (Basso et al., 2022).

No entanto, a falta de conhecimento sobre o papel do silício para culturas hortícolas e em cultivo sem solo tornou-se evidente, visto que muitos plantios têm migrado para áreas de estufas com uso de substratos comerciais. No cultivo sem solo, a escolha adequada de um composto de material que libera esse elemento durante o crescimento da planta pode ser uma fonte importante de silício para os vegetais (Ma, 2004; Korndörfer & Pereira, 2011). Cita-se, como exemplo, a casca de arroz carbonizada que, dependendo da cultivar e do local de cultivo, pode ser usada como fertilizante de silício natural, de liberação lenta e baixo custo por conter em média 95% de sílica (SiO<sub>2</sub>) (Pereira et al., 2004; Tunes et al., 2014).

Franceschi et al. (2018) ressaltaram, ainda, que o substrato comercial Carolina Soil<sup>®</sup>, comumente utilizado na produção de mudas, apresenta em sua composição, turfa de *Sphagnum*, vermiculita expandida, casca de arroz carbonizada, traços de NPK, calcário dolomítico e gesso agrícola, pode ser fonte de silício para plantas hortícolas. A casca de arroz carbonizada é usada para melhorar a porosidade do substrato visto que se trata de um material leve e inerte à hidratação e eleva a macroporosidade do composto permitindo melhor aeração para as raízes.

No entanto, Carvalho-Zanão et al. (2017) não identificaram resposta positiva à aplicação de silício em substratos comerciais visto que a quantidade encontrada disponível para as plantas é limitada.

Nessa acepção, objetivou-se avaliar o desenvolvimento e a produtividade de tomateiros do tipo cereja submetidos a diferentes modos de aplicação de silício, bem como os resultados dessa adubação sobre a nutrição das plantas em cultivo sem solo e seus efeitos microscópicos.

## 2. Metodologia

Trata-se de pesquisa de campo de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018; Lakatos & Marconi, 2017). O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Unidade Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Marília (APTA/SAA-SP). As mudas comerciais de tomate tipo cereja foram cultivadas em vasos de oito litros contendo substrato comercial Carolina Soil<sup>®</sup>, sendo transplantadas no dia 10 de julho de 2019. O substrato era composto por turfa de *Sphagnum*, perlita expandida, vermiculita expandida e casca de arroz torrefada.

Avaliou-se quatro tratamentos e cinco repetições, considerando um vaso por parcela, perfazendo um total de 20 vasos, constituído de uma planta por vaso. Os tratamentos foram: plantas com aplicação de silício foliar, plantas adubadas com silício no substrato, plantas adubadas com silício foliar e no substrato, além de uma testemunha absoluta (sem aplicação de silício). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso.

O fornecimento de nutrientes ocorreu via fertirrigação, pelo sistema de gotejamento. Utilizou-se solução nutritiva contendo: 16% de N; 13% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 41% de K<sub>2</sub>O; 0,059% de Mn; 0,030% de Cu; 0,031% de Zn; 0,05% de B; 0,008% de Mo; 0,14% de Fe e 0,002% de Ni; 8% de Ca; 4,6% de Mg. A solução nutritiva foi aplicada todos os dias após o transplante das mudas até 58<sup>o</sup> dias. Após esse período, foi reduzida para duas vezes na semana, com irrigação constante e aplicação de 10 litros da solução nutritiva pronta objetivando atender a demanda nutricional da cultura. Realizou-se, também, a cada 20 dias, três aplicações de sulfato de amônia na dose de 20 Kg ha<sup>-1</sup> seguindo a recomendação de adubação para a cultura (Raij et al., 1997).

Nas aplicações foliares, por meio de um borrifador manual e no substrato de cultivo, utilizou-se o produto comercial AgriSil® (98% de SiO<sub>2</sub> e 6,5% de Si solúvel) na dose de 1g L<sup>-1</sup>. Na calda de pulverização foi adicionado espalhante adesivo para evitar escorrimento. A primeira aplicação foi realizada 15 dias após o transplante das mudas e repetida com intervalo de sete dias até a colheita. Foram aplicados 15 ml da solução de silício por vaso nos tratamentos correspondentes as plantas adubadas com silício no substrato e no de plantas adubadas com silício foliar e no substrato.

Nos tratamentos com aplicação foliar usou-se uma barreira com papel em volta das plantas para não ocorrer deriva e proteção do substrato com tecido feltro para evitar o escorrimento e, conseqüentemente, absorção radicular. Na testemunha aplicou-se somente água destilada no solo e na parte aérea. As soluções nutritivas foram preparadas com água deionizada.

Nas folhas efetuou-se a leitura de índice relativo de clorofila (IRC) aos 20, 45, 60, 80 e 90 dias após a aplicação dos tratamentos. A estimativa de IRC foi realizada com auxílio do aparelho medidor indireto de clorofila clorofiLOG Digital Falker® CFL1030 com uma média de duas leituras por planta. Foram obtidos os valores indiretos de clorofila *a* e *b* e, pela somatória, os valores do índice relativo de clorofila total.

Foram realizadas quatro avaliações de altura, diâmetro do colmo, número de inflorescências e frutos de cada planta. Os frutos foram pesados para verificação da produção total. Após a colheita de todos os frutos, a parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo. Em seguida, as folhas foram lavadas e colocadas em sacos de papel para secagem em estufa a 70 °C visando aferição da massa seca da parte aérea. O teor de silício no material vegetal foi analisado em laboratório seguindo metodologia descrita por Korndörfer & Pereira (2011). A partir dos resultados quantificou-se o acúmulo de silício na planta.

Análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas para avaliar os elementos presentes na superfície das folhas coletadas no terço médio da planta e epicarpo do fruto. As análises foram executadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UNESP, Campus de Botucatu, Instituto de Biociências.

Antes do envio das amostras ao laboratório, fragmentos de 5 mm<sup>2</sup> de folha de cada tratamento foram coletados e fixados em glutaraldeído 2,5% em tampão fosfato 0,1M pH 7,3 por 24 horas a 4°C. No momento da análise, as amostras foram retiradas do fixador e lavadas em água destilada, três vezes durante 5 minutos cada vez. Após este processo, o material foi imerso em tetróxido de ósmio 0,5% diluído em água destilada, por 30 minutos. Posteriormente, foi lavado novamente em água destilada, três vezes durante 10 minutos cada vez.

Após a lavagem iniciou-se a desidratação em série crescente com álcool, sendo eles: duas vezes de 10 minutos, em álcool 7,5%; 15%; 30%; 50%; 70%; 90% e 100% (Robards, 1978). Em seguida, o material foi fixado sobre “stubs”, metalizado em ouro e visualizado no microscópio eletrônico de varredura “Philips SEM 515”.

Os dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar máxima e mínima foram obtidos diariamente, com o auxílio de um termohigrômetro, durante a condução do experimento em casa de vegetação após a instalação do experimento. As médias de temperatura máxima e mínima durante o experimento foram de 15°C a 48°C, respectivamente e a média de umidade relativa do ar mínima foi de 8% e máxima de 76%.

Taiz et al. (2017) descreveram que para o tomate é indicado clima em torno de 10°C a 40°C, com temperatura ideal de 25°C. Temperaturas acima de 30°C aceleram o crescimento e abaixo de 18°C retardam. Para se conseguir frutos vermelhos e com boa produtividade a temperatura ideal corresponde a 18°C a noite e 25°C durante o dia. Acima de 35°C e abaixo de 15°C a fecundação das flores pode ser prejudicada.

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância com o uso do programa estatístico AgroEstat, aplicando-se o teste de F e Tukey a 5% de probabilidade quando os resultados foram significativos (Barbosa & Maldonado Junior, 2015).

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados não diferiram estatisticamente entre os tratamentos com aplicação de silício e a testemunha para os dados de índice de cor verde e do teor de clorofila *a* e *b* nas folhas de tomate em todas as leituras realizadas (Tabela 1). Nicchio et al. (2020), também, não observaram diferenças entre os tratamentos para as variáveis de índice de cor verde e teor de clorofila *a* e *b* das folhas de cana-de-açúcar em um estudo em que avaliaram os efeitos da aplicação foliar de Si, P e K no desenvolvimento, produção e qualidade de soqueira, apesar de ser esta uma cultura considerada muito acumuladora de silício (Ma, 2004).

Por outro lado, esses resultados diferem dos dados encontrados por Rodrigues et al. (2016) quando avaliaram o comportamento das clorofilas *a* e *b* de tomateiro tratado com silicato de potássio via foliar aplicado semanalmente. Os autores constataram aumento nos teores de clorofila *a*, com incremento da produtividade e número total de frutos em decorrência dos tratamentos avaliados.

Camargo (2016) argumenta que os efeitos da adubação com silício tornam-se evidentes quando as plantas se encontram em situação de estresse, realidade diferente da observada ao longo deste experimento onde todos os fatores foram controlados por se tratar de um ensaio em casa-de-vegetação.

Já, na Tabela 2 encontram-se os valores de diâmetro do colmo e altura de plantas de tomate avaliadas ao longo do ciclo da cultura. Não se notou diferença entre os tratamentos e a testemunha mostrando que as plantas cresceram no mesmo patamar. Dentre os benefícios proporcionados pela adubação com silício destaca-se sua influência positiva no crescimento e desenvolvimento das plantas. Porém, estes efeitos não foram observados nas plantas de tomate cereja avaliadas no presente estudo.

Rodrigues et al. (2018) ao estudar o efeito da adubação silicatada no cultivo de tomateiro sob estresse salino obtiveram diferenças na altura das plantas em decorrência dos tratamentos com doses de silício foliar somente aos 45 dias após o transplante, sendo as alturas mensuradas aos 20, 45, 75 e 90 dias.

No mesmo sentido, Oliveira et al. (2020) ao analisar o crescimento de plantas de tomate cereja concluíram, que independente do modo de aplicação de silício, sendo foliar ou via solo, os tratamentos não promoveram efeitos significativos em nenhuma fase do desenvolvimento das plantas, indicando que o crescimento não foi influenciado pela aplicação de silício como adubo, independente do modo em que foi aplicado.

**Tabela 1** - Índice relativo de clorofila total (IRCT), índice relativo de clorofila *a* (IRCF *a*), *b* (IRCF *b*) em folhas de tomate cereja submetidos à aplicação de silício somente no substrato, aplicação foliar, aplicação no substrato + foliar e testemunha absoluta (sem silício).

Tratamentos	Períodos de avaliação														
	30/07			22/08			06/09			26/09			09/10		
	Total	A	B	Total	A	B	Total	A	B	Total	A	B	Total	A	B
	IRCT	IRCF <i>a</i>	IRCF <i>b</i>	IRCT	IRCF <i>a</i>	IRCF <i>b</i>	IRCT	IRCF <i>a</i>	IRCF <i>b</i>	IRCT	IRCF <i>a</i>	IRCF <i>b</i>	IRCT	IRCF <i>a</i>	IRCF <i>b</i>
Substrato	33,20	25,10	5,60	29,90	25,20	5,90	37,70	27,10	6,80	23,10	18,70	3,80	25,70	19,10	4,10
Foliar	33,80	26,40	5,90	33,90	24,80	5,70	36,50	29,00	7,60	20,40	19,60	4,00	26,40	19,90	4,20
Subst.+Folha	34,80	24,80	6,10	32,10	26,70	6,40	35,20	29,70	7,60	21,60	18,20	3,80	19,70	21,40	4,10
Testemunha	33,40	28,00	5,80	31,40	25,10	5,70	36,30	28,30	7,40	18,80	21,10	4,10	18,70	17,90	3,00
CV (%)	2,04	30,13	4,06	25,66	26,84	13,38	23,68	19,67	28,20	10,54	3,94	23,64	25,17	33,31	32,58
Teste de F	0,38 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	2,93 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>
DMS	0,13	3,47	0,15	5,33	2,85	1,80	1,38	9,64	7,43	1,62	0,21	1,57	1,18	2,53	1,59

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Dados dos autores (2022).

**Tabela 2** - Diâmetro do colmo (mm) e altura de plantas (cm) de tomate cereja submetidos à aplicação de silício somente no substrato, aplicação foliar, aplicação no substrato + foliar e testemunha absoluta (sem silício), nas duas brotações (B1 e B2).

Tratamentos	Períodos de avaliação															
	31/07				07/08				22/08				09/10			
	Diâmetro		Altura		Diâmetro		Altura		Diâmetro		Altura		Diâmetro		Altura	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
	(mm)	(mm)	(cm)	(cm)	(mm)	(mm)	(cm)	(cm)	(mm)	(mm)	(cm)	(cm)	(mm)	(mm)	(cm)	(cm)
Substrato	4,22	2,56	10,60	7,30	6,18	3,66	17,70	10,30	6,72	5,06	37,80	26,60	7,90	6,28	61,40	60,00
Foliar	3,67	4,49	11,10	9,00	5,65	4,66	18,00	13,60	7,14	5,69	38,60	34,30	6,82	8,47	59,80	54,90
Subst.+ Folha	4,62	3,11	11,20	6,88	6,04	3,32	18,80	10,50	7,90	4,46	45,20	24,10	8,06	7,41	75,20	63,20
Testemunha	4,22	4,29	11,90	11,30	6,01	5,04	18,00	16,60	6,65	6,51	43,30	41,10	8,50	9,05	65,20	74,00
CV (%)	25,19	28,71	0,59	26,03	16,27	27,95	1,80	29,46	10,07	28,34	13,91	34,97	15,37	36,06	16,84	41,25
Teste de F	2,21 <sup>ns</sup>	3,36 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	2,09 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	3,73 <sup>ns</sup>	1,87 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	2,40 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>
DMS	2,53	6,47	0,10	1,56	3,30	8,48	0,09	2,29	0,57	1,62	3,21	1,08	1,35	2,73	1,25	1,36

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Dados dos autores. (2022).

De acordo com a Tabela 3, não houve diferença estatística entre os tratamentos para os parâmetros massa fresca e seca da parte aérea no tomateiro. Estes resultados acompanharam a ausência de diferenças significativas observadas para a altura e diâmetro do caule (Tabela 2) e, também, índice de cor verde (Tabela 1). Ressalta-se que na ausência de estresses ambientais ou nutricionais, como observado no presente estudo, a aplicação de silício provavelmente não influenciou na eficiência fotoquímica das plantas e conseqüentemente não interferiu no acúmulo de massa fresca e seca.

No entanto, Pereira et al. (2004) e Gomes et al. (2009) salientaram que fornecimento de silício pode resultar no aumento de produtividade por interferir na arquitetura das plantas proporcionando folhas mais eretas, com maior penetração de luz solar, absorção de CO<sub>2</sub> e diminuição da transpiração excessiva ocorrendo assim maior eficiência e incremento da taxa fotossintética. Porém, esses efeitos não foram observados no presente ensaio, podendo ser justificado pelo cultivo controlado das plantas que não sofreram nenhum tipo de estresse.

**Tabela 3** - Massa fresca e seca (g) da parte aérea de plantas de tomate cereja submetidos à aplicação de silício somente no substrato, aplicação foliar, aplicação no substrato + foliar e testemunha absoluta (sem silício).

Tratamentos	Massa fresca total (g)	Massa seca total (g)
<b>Substrato</b>	313,20	7,92
<b>Foliar</b>	348,70	6,75
<b>Subst. + Folha</b>	349,60	6,74
<b>Testemunha</b>	348,70	5,84
<b>CV (%)</b>	5,45	5,95
<b>Teste de F</b>	0,22 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>
<b>DMS</b>	0,59	0,11

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
Fonte: Dados dos autores (2022).

O número de inflorescência não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4). Diferentemente dos resultados encontrados, Nunes et al. (2019) observaram aumento no número de flores de tomate ao analisar os efeitos de doses de silício em relação à tolerância ao estresse hídrico, ressaltando que, apesar de significativa a diferença entre o tratamento testemunha (sem silício) e as doses de silicato de potássio aplicadas na folha, este fator é fortemente influenciado pela disponibilidade de água ofertada às plantas testadas.

No presente estudo, somente as plantas que receberam silício no substrato e o grupo testemunha apresentaram diferenças significativas em relação ao número de frutos. No entanto, não ocorreu diferença significativa entre o valor de peso dos frutos (Tabela 4). Lana et al. (2003), também, não encontraram diferenças na produtividade de tomateiros que receberam doses de silicato de cálcio via solo, mas ressaltaram que a quantidade de frutos não comercializáveis foram menores nos tratamentos que receberam mais silício. No mesmo sentido, Santos (2008) observaram que doses de silício quando aplicadas via foliar promoveram o aumento de frutos de tomate para comercialização e reduziu danos causados por *Tuta absoluta* (traçudo-tomateiro).



**Tabela 4** - Número de inflorescência (unidade), frutos (unidade) e peso dos frutos (g) de plantas de tomate cereja submetidos à aplicação de silício somente no substrato, aplicação foliar, aplicação no substrato + foliar e testemunha absoluta (sem silício).

<b>Tratamentos</b>	<b>Número de inflorescência (unid.)</b>	<b>Número de frutos (unid.)</b>	<b>Peso dos frutos (g)</b>
<b>Substrato</b>	6,80	8,00 <sup>ab</sup>	43,58
<b>Foliar</b>	7,40	6,00 <sup>b</sup>	39,21
<b>Subst. + Folha</b>	7,40	8,00 <sup>ab</sup>	45,28
<b>Testemunha</b>	7,20	9,00 <sup>a</sup>	46,67
<b>CV (%)</b>	17,39	3,65	4,09
<b>Teste de F</b>	0,52 <sup>ns</sup>	5,07	0,47 <sup>ns</sup>
<b>DMS</b>	0,44	0,07	0,20

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Dados dos autores (2022).

Os teores de silício não diferiram entre si levando em consideração o modo de aplicação. A testemunha, também, não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. O mesmo comportamento foi observado para os resultados de acúmulo de silício na planta (Tabela 5). Provavelmente, o silício disponível no substrato supriu de modo semelhante às plantas de tomate, não sendo necessária adubação com outras fontes de silício.

Resultados semelhantes foram obtidos por Rodrigues et al. (2018) ao estudar os efeitos do silício em plantas de tomate cultivados em substratos comerciais. Kath et al. (2017) analisando o efeito residual da cinza de casca de arroz na disponibilidade de silício no solo constataram que esse material foi capaz de aumentar a disponibilidade de silício no solo quando avaliado pelo extrator ácido acético, mas o acréscimo foi equivalente a uma fração de no máximo 0,08 % de silício total contido nas cinzas, independente da dose deste material incorporado ao solo.

**Tabela 5** - Teor (g kg<sup>-1</sup>) e acúmulo de silício (mg por planta) em plantas de tomate cereja submetidos à aplicação de silício somente no substrato, aplicação foliar, aplicação no substrato + foliar e testemunha absoluta (sem silício).

<b>Tratamentos</b>	<b>Teor (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Acúmulo (mg por planta)</b>
<b>Substrato</b>	32,47	270,98
<b>Foliar</b>	33,36	224,06
<b>Subst. + Folha</b>	33,18	227,66
<b>Testemunha</b>	34,47	202,48
<b>CV (%)</b>	7,60	5,95
<b>Teste de F</b>	0,11 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>
<b>DMS</b>	0,71	0,69

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Dados dos autores (2022).

Em todos os tratamentos foram identificados valores superiores para o teor e o acúmulo de silício (Tabela 5) em comparação aos encontrados por Sonneveld e Voogt (2001) que observaram mínima absorção de silício em tomateiros cultivadas no solo. Os elevados valores encontrados no presente trabalho podem ser justificados pelo meio de cultivo em que as plantas foram desenvolvidas.

Jarosz (2014) avaliando o efeito da aplicação de silício e o tipo de meio em que as plantas foram conduzidas em relação ao rendimento e composição química do tomate, ressaltou que o meio de cultivo é uma fonte de silício, pois no experimento, a palha usada como meio para o desenvolvimento das plantas foi mineralizada em 55-60% e assim, monômeros de ortossilicato, facilmente disponíveis para as plantas, foram liberados no ambiente radicular ao longo desse processo. Além da palhada, o autor salienta que a água de irrigação, também, pode contribuir como fonte de silício, pois ocorre na forma de



monômeros de ácido silícico ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) disponíveis para as plantas, justificando a presença do elemento nas plantas do tratamento testemunha.

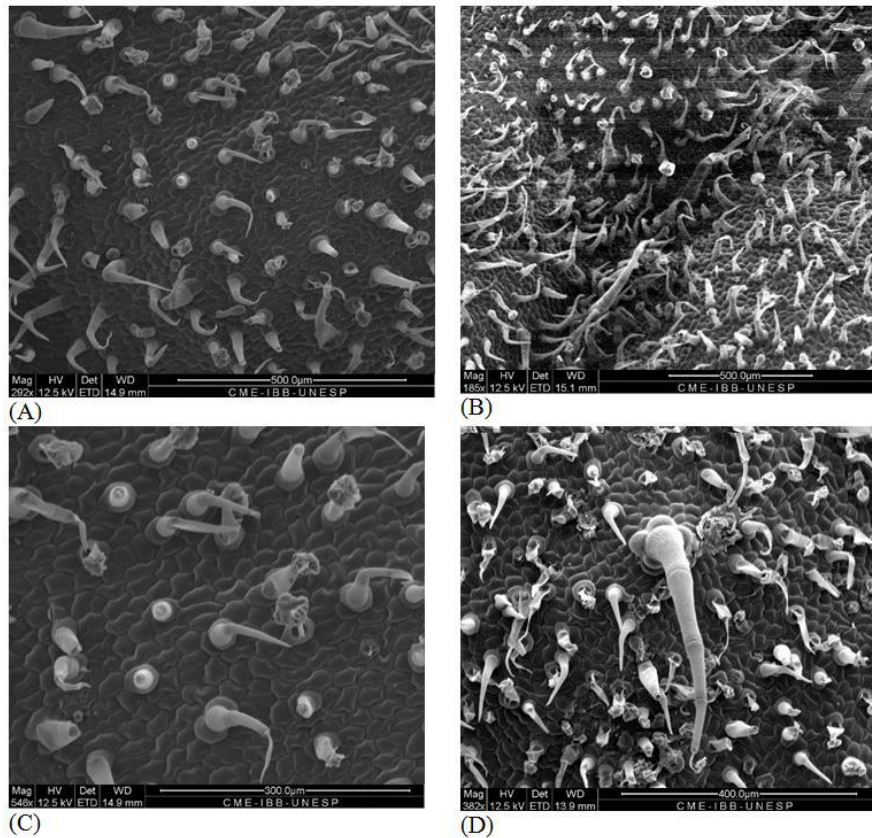
Vale ressaltar que os valores encontrados para o teor de silício nas plantas (Tabela 5) são superiores aos encontrados por Lana et al. (2003) ao avaliar o efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro cultivado em um latossolo vermelho distrófico.

Assim como na presente pesquisa, Ouellette et al. (2017) notaram que plantas de morango cultivadas e adubadas com silício em túnel alto preenchidos com substrato comercial apresentaram maior teor de Si nas folhas em comparação às plantas que foram conduzidas no solo. Os autores argumentaram que no solo, o ácido silícico pode causar interação com as partículas de solo diminuindo sua disponibilidade para a planta. Destaca-se que alguns solos liberaram quantidades diversificadas de ácido silícico, dependendo da textura, pH, condutividade, embora este fenômeno tenha sido menos descrito com fertilizantes solúveis (Tubana et al., 2016). Assim, fontes de silício solúvel podem disponibilizar mais silício para as plantas cultivadas em substratos comerciais e consequentemente seriam mais absorvidos por estas. No entanto, não foi visto esta última observação no presente trabalho.

Por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), notou-se maior presença de tricomas nas folhas do tomateiro que receberam aplicações de silício foliar (Figuras 1 B e D) em comparação a testemunha (Figuras 1 A e C). Na epiderme foliar, o silício combina com a celulose (Silva et al., 2005) e pode estar presente nas células guarda dos estômatos e nos tricomas, pois o silício é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) juntamente com a água (fluxo de massa) e se acumula, principalmente, nas áreas de máxima transpiração (como tricomas e espinhos), como ácido silícico polimerizado (sílica amorfa) (Ma, 2004).

Salienta-se que os tricomas em tomateiro proporcionam proteção limitando o acesso de insetos à superfície da planta pela sua densidade ou pela produção de toxinas e evidencia-se que quanto maior a presença nas folhas, possivelmente menor ataque de insetos pode ocorrer. Em ambos os tratamentos (testemunha e aplicação de silício foliar) foram identificados tricomas não glandular do tipo Va, não glandular do tipo III, glandular do tipo VIa e não glandular do tipo VIII. Esses mesmos tipos de tricomas foram encontrados por Toscano et al. (2001) para a espécie *L. esculentum*, nos híbridos Bruna e Santa Clara. Esses autores, ainda, ressaltam que o tricoma glandular do tipo VI é o de maior importância para a resistência a artrópodes por conter maior concentração da metil-cetona 2-tridecanona (2-TD).

**Figura 1.** Fotos de microscopia eletrônica de varredura da superfície abaxial da folha de tomate cereja sem aplicação de silício (testemunha) (A e C) e com aplicação de silício foliar (B e D).

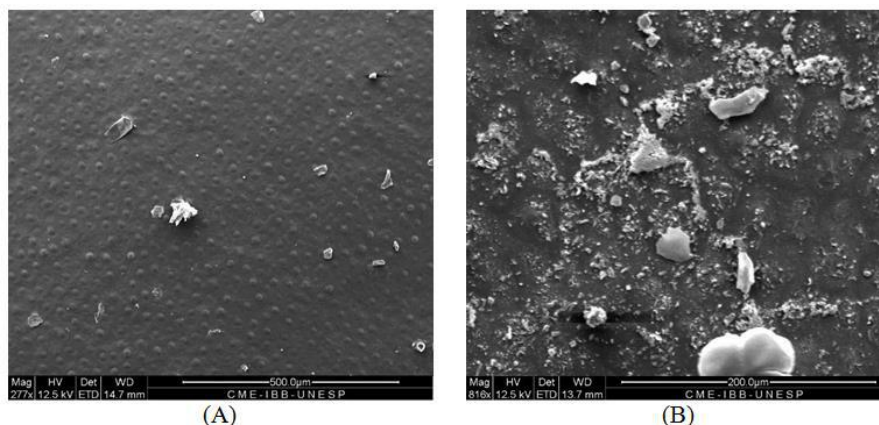


Fonte: Dados dos autores (2022).

Verificou-se, também, por meio de microscopia eletrônica de varredura, uma deposição mais significativa de cera na superfície do epicarpo do fruto de tomate submetido a tratamento com silício foliar (Figura 2 B). No tratamento que recebeu silício no solo e na folha, o silício foi encontrado de forma localizada (Figura 2 A).

Pozza et al. (2004) salientam, que a polimerização do silício, chamada de silicificação, na superfície inferior da folha é comum em gramíneas e pode ocorrer em plantas dicotiledôneas, como o café. De acordo com os mesmos autores, isso ocorre devido ao aumento da cutícula na superfície inferior das folhas tratadas com silício. O aumento deve-se, principalmente, à camada de cera epicuticular mais desenvolvida, que promove processo importante para prevenir ações de patogênese viral como a germinação e penetração de fungos. Deposições de silício, também, foram observadas em folhas de maracujá que receberam adubações com o elemento (Costa et al., 2018).

**Figura 2.** Fotos de microscopia eletrônica de varredura do epicarpo dos frutos de tomate cereja que receberam a aplicação de silício no solo + folha (A) aplicação silício na folha (B).



Fonte: Dados dos autores (2022).

#### 4. Considerações Finais

A aplicação de silício, independente do modo de aplicação, não interferiu no desenvolvimento, produção, teor e acúmulo do elemento nas plantas do tomate cereja. Todavia, o silício foliar favoreceu o aumento de tricomas nas folhas sugerindo redução na perda de água, maior proteção contra herbivoria e atração de polinizadores.

Recomenda-se a realização de outras pesquisas com variadas fontes e concentrações de silício visando identificar a resposta das plantas e estabelecer a ação deste elemento na produção de tomate tipo cereja.

#### Referências

- Bakhat, H. F., Bibi, N., Zia, Z., Abbas, S., Fahad, S., Rizwan, M., Mustafa, G. & Rabbani, F. (2018). Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. *Crop Protection*, 104(1), 21-34.
- Barbosa, J. C. & Maldonado Junior, W. (2015). *AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos*. Jaboticabal: UNESP. 396p.
- Basso, N. C. F., Babeski, C. M., Heuser, L. B., Zardin, N. G., Bandeira, W. J. A., Carvalho, I. R., Colet, C. de F. & Silva, J. A. G. (2022). A produção sem agrotóxicos no controle de doenças foliares da aveia: indutor de resistência por silício e potássio e zona de escape. *Research, Society and Development*, 11(8), e47611831191.
- Camargo, M. S. (2016). Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. *Informações Agrônomicas*, 155, 1-8.
- Carvalho-Zanão, M. P., Villa, F. & Zanão Júnior, L. A. (2017). Produção e estado nutricional de gladiolos em função da aplicação de silício ao substrato. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(2), 178-185.
- Costa, B. N. S., Costa, I. J. S., Dias, G. M. G., Assis, F. A. P., Soares, L. A. S., Rodrigues, J. D. & Pasqual, M. (2018). Morpho-anatomical and physiological alterations of passion fruit fertilized with silicon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(2), 163-171.
- D'Imperio, M., Renna, M., Cardinali, A., Buttarò, D. & Santa Maria, P. (2016). Silicon biofortification of leafy vegetables and its bioaccessibility in the edible parts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 751-756.
- Franceschi, E., Saldanha, C. W., Missio, E. L., Steffen, G. P. K., Maldaner, J., Morais, R. M., Roubuste, R. R. & Fermino, M. H. (2018). Vermicomposto na composição do substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 38, 1-10.
- Gomes, F. B., Moraes, J. C. & Neri, D. K. P. (2009). Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(1), 18-23.
- Islam, M. Z., Mele, M. A. & Kang H. M. (2018). Gaseous, physicochemical and microbial performances of silicon foliar spraying techniques on cherry tomatoes. *Journal of Agricultural Science*, 40, 185-192.
- Jarosz, Z. (2014). The effect of silicon application and type of medium on yielding and chemical composition of tomato. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 13(4), 171-183.
- Kath, A. H., Teixeira, J. B. S., Islabão, G. O. & Vahl, L. C. (2017). Efeito residual da cinza de casca de arroz na disponibilidade de silício e fósforo no solo. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 8(3), 15-22.

- Korndörfer G.H. & Pereira H.S. (2011). Silicon testing, silicon fertilizer manufacturing techniques and standards. *Proceedings of the International Conference on Silicon in Agriculture*. Beijing, 89-98.
- Lakatos, E. M. & Marconi, M. A. (2017). *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo: Editora Atlas. 368p.
- Lana, R. M. Q., Korndörfer, G. H., Zanão Júnior, L. A., Silva, A. F. & Lana, A. M. Q. (2003). Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. *Bioscience Journal*, 19(2), 15-20.
- Ludwig, F., Behling, A. & Schmitz, J. A. K. (2015). Silício na produção e qualidade fitossanitária do tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Scientia Agraria Paranaensis*, 14, 60-66.
- Ma, J. F. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(1), 11-18.
- Marodin, J. C., Resende, J. T. V., Morales, R. G. F., Silva, M. L., Galvão, A. G. & Zanin, D. S. (2014). Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. *Horticultura Brasileira*, 32(2), 220-224.
- Marodin, J. C., Resende, J. T., Morales, R. G., Faria, M. V., Trevisam, A. R., Figueired, A. S. & Dias, D. M. (2016) Tomato post-harvest durability and physicochemical quality depending on silicon sources and doses. *Horticultura Brasileira* 34, 361-366.
- Monzon, D. L. R., Salina, M. B. P., Valiente, L. S. R., Agilera, L. A., Maia, L. C. & Menegelho, G. E. (2021). Influence of foliar application of silicon and amorphous silica and their response in rice culture. *Brazilian Journal of Development*, 7(3): 25932-25945.
- Munaretto, L. M., Botelho, R. V., Resende, J. T. V., Schwarz, K. & Sato, A.J. (2018). Productivity and quality of organic strawberries pre-harvest treated with silicon. *Horticultura Brasileira*, 36, 40-46.
- Nicchio, B., Korndörfer, G. H., Pereira, H. S., Santos, G. A. & Vieira, M. A. M. (2021). Efeito da aplicação foliar de Si, P e K no desenvolvimento, produção e qualidade de soqueira de cana-de-açúcar. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(2), 325-338.
- Nunes, A. M. C.; Nunes, L.; Rodrigues, A. J. O. & Uchôa, K. S. A. (2019). Silício na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro. *Revista Científica Rural*, 21(2): 239-258.
- Oliveira, T. A., Silva, R. P., Silva, B. L., Santos, F. F., Cavalcante, L. S., Silva, M. C., Albuquerque, J. M. S. & Neto, A. L. S. (2020). Caracterização química, fisiológica e pós-colheita de plantas de tomateiro adubadas com silício via solo e foliar. *Brazilian Journal of Development*, 6(12), 95097-95105.
- Ouellette, S., Goyette, M. H., Labbé, C., Laur, J., Gaudreau, L., Gosselin, A. & Bélinger, R. R. (2017). Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-11.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria/RS: Editora UAB/NTE/UFSM. 119p.
- Pereira, R. R. C., Vitti, G. C. & Korndorfer, G. H. (2004). Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 101-108.
- Pozza, A. A., Alves, E., Pozza, E. A., Carvalho, J. G., Montanari, M., Guimarães, P. T. G. & Santos, D. M. (2004). Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira*, 29(2), 185-188.
- Raij, B. V., Cantarella, H., Quaggio, J. A. & Furlani, A. M. C. (1997). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC. (Boletim Técnico, 100).
- Robards, A.W. 1978. Introduction to techniques for scanning electron microscopy. New York: Elsevier. 582p.
- Rodrigues, C. R., Rodrigues, T. M., Luiz, J. M. Q., Sousa, V. B. F., Sousa, J.B., Nunes, A. C. P. & Trindade, P. R. (2016). Clorofila a e b de tomateiro tratado com silicato de potássio e fungicida. *Global Science and Technology*, 9, 54-64.
- Rodrigues, A. J. O., Nunes, L. R. L., Nunes, A. M. C. & Uchôa, K. S. A. (2018). Efeito da adubação silicatada no cultivo de tomateiro sob estresse salino. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 14(2), 141-148.
- Santos, M. C. (2008). *Efeito de diferentes doses de silício, nitrogênio e potássio na incidência da traça-do-tomateiro, pinta-preta e produtividade do tomate industrial*. 74p. Tese (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Brasília: UNB.
- Santos, M. S., Assis, F. A., Assis, G. A., Carvalho, F. J., Rodrigues, F. A. & Marafeli, E. A. M. (2020). Silício na caracterização dos frutos e na incidência de insetos-praga em physalis. *Research, Society and Development*, 9(10), e4989108632.
- Silva, O. N., Lobato, A. K. S., Avila, F. W., Costa, R. C. L., Oliveira Neto C. F., Santos Filho, B. G., Cardoso, M. S. (2012) Silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. *Plant Soil Environ*, 58, 481-486.
- Silva, L. P., Silva, L. S. & Bohnen, H. (2005) Componentes da parede celular e digestibilidade *in vitro* de palha de arroz com diferentes teores de silício. *Ciência Rural*, 35, 1205-1208.
- Sonneveld, C. & Voogt, W. (2001). Chemical analysis in substrate systems and hydroponics. *Acta Horticulture*, 548, 247-260.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M. & Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre: Editora Artmed. 858p
- Toscano, L. C., Boiça Junior, A. L., Santos, J. M. & Almeida, J. B. S. A. (2001). Tipos de tricomas em genótipos de *Lycopersicon*. *Horticultura Brasileira. Associação Brasileira de Horticultura*, 19(3), 336-338.
- Tubana, B., Babu, T. & Datnoff, L. (2016). A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives. *Soil Science*, 181, 393-411.

Tunes, L. V. M., Fonseca, D. A. R., Meneghello, G. E., Reis, B. B., Brasil, V. D., Rufino, C. A. & Vilella, F. A. (2014). Qualidade fisiológica, sanitária e enzimática de sementes de arroz irrigado recobertas com silício. *Revista Ceres*, 61(5), 675-685.

Yanar, Y., Yanar, D. & Gebologlu, N. (2011). Control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on tomato by foliar sprays of liquid potassium silicate (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). *African Journal of Biotechnology*, 10(16), 3121-3123.

Yassen, A., Abdallah, E., Gaballah, M. & Zaghoul, S. (2017) Role of silicon dioxide nano fertilizer in mitigating salt stress on growth, yield and chemical composition of cucumber. *International Journal of Agricultural Research*, 12, 130-135.