UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

BIOFORTIFICAÇÃO DO TOMATEIRO COM SILÍCIO VIA PULVERIZAÇÃO FOLIAR COM DIFERENTES FONTES

Márcia Masson Mendes dos Santos
Engenheira Agrônoma

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

BIOFORTIFICAÇÃO DO TOMATEIRO COM SILÍCIO VIA PULVERIZAÇÃO FOLIAR COM DIFERENTES FONTES

Márcia Masson Mendes dos Santos
Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado
Coorientadora: Profa. Dra. Gilmara Pereira da Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2018

Santos, Márcia Masson Mendes dos

S237b

Biofortificação do tomateiro com silício via pulverização foliar com diferentes fontes. / Márcia Masson Mendes dos Santos. -- Jaboticabal, 2018

42 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Renato de Mello Prado

Coorientadora: Gilmara Pereira da Silva

1. Adubação foliar. 2. Nutrição óssea. 3. Qualidade do fruto. 4. Si. 5. Silicato.

I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: BIOFORTIFICAÇÃO DO TOMATEIRO COM SILÍCIO VIA PULVERIZAÇÃO FOLIAR COM DIFERENTES FONTES

AUTORA: MÁRCIA MASSON MENDES DOS SANTOS
ORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO
COORIENTADORA: GILMARA PEREIRA DA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pós-doutorando JOAQUIM JOSÉ FRAZÃO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV-UNESP/Jaboticabal-SP

Prof. Dr. CLAUDENIR FACINCANI FRANCO
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / FATEC / Jaboticabal/SP

Jaboticabal, 23 de agosto de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MÁRCIA MASSON MENDES DOS SANTOS nasceu em São Luís – MA, Brasil em 11 de abril de 1991, filha de Raimundo Nonato da Silva Santos e Maria Elenir Mendes Santos. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, no Câmpus de São Luís – (2016). Durante a graduação, teve a oportunidade de ser bolsista de iniciação científica, desenvolvendo trabalhos na área de nutrição de plantas e sendo membro do grupo de Eficiência do Uso de Nitrogênio – EUN. Foi discente do curso de mestrado do programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Fez parte do Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas da UNESP (GENPLANT), desenvolvendo pesquisas sobre nutrição com silício em culturas.

"Rendam graças ao Senhor, pois ele é bom; o seu amor dura para sempre."

1 Crônicas 16:34

AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu amor e direção nesta jornada que é a vida, e por ter me dado força para aceitar os desafios que me foram propostos.

Aos meus pais Raimundo Nonato *(in memoriam*) e Maria Elenir, que sempre me incentivaram e investiram em meu crescimento, muito obrigada por acreditarem em meu potencial. Aos meus irmãos Elenato, Nonato, Renato e Noeli nos quais sempre pude encontrar suporte nos momentos mais difíceis.

À Universidade Estadual Paulista, e em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade concedida para a realização do curso.

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

Ao orientador Renato de Mello Prado, por me orientar, pelo apoio constante, pela confiança, paciência e pelo amadurecimento de minha carreira profissional.

À coorientadora Gilmara Pereira da Silva, que foi uma peça fundamental para a condução e o desenvolvimento do experimento.

Ao professor Ben-Hur Mattiuz, pelos ensinamentos, e por ter aceitado tornar este trabalho o melhor possível.

Aos mestrandos e doutorandos (Antônio Márcio, Alexsandro, Águila, Bruna, Bruno, Darlena Carolina, Diego, Isaías, Gilmar, José e Luciano), pela amizade oferecida, pelos auxílios fundamentais em etapas deste trabalho, pelos bons momentos de distração e de diversão durante o curso.

Ao grupo do GENPLANT, em especial a todos os seus membros com quem tive a oportunidade de conhecer (Alexander, Dilier, Edilaine, Guilherme, Gelza, Jonas, Juliana, Kamilla, Luiz Cláudio Mancha, Marcilene, Rafael), pelo compartilhamento de conhecimentos, fundamental para o crescimento profissional.

À igreja Assembleia de Deus Ministério Madureira, em especial ao grupo de Jovens Unidos em Cristo - JUC que foram a minha família em Jaboticabal auxiliando-me e fortalecendo-me em Cristo, em especial Carina, Daniel, Danielle, Elaine, Everton, Igor, Jeniane, Kathy, e Marissa.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e aos que me acompanharam ao longo desta jornada, o meu muito obrigada!

SUMÁRIO

Página

RESUMO..... X

ABSTRACT..... XI

LISTA DE FIGURAS..... 12XII

1 INTRODUÇÃO 1

2 REVISÃO DE LITERATURA 3

2.1 Importância do tomate (*Solanum lycopersicum*) **.....3**

2.3 Fontes de Si em hortaliças.....5

2.4 Biofortificação de plantas com silício 6

2.5 Silício na qualidade tecnológica do tomate.....8

3 MATERIAL E MÉTODOS 9

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 15

5 CONCLUSÃO 25

REFERÊNCIAS.....26

BIOFORTIFICAÇÃO DO TOMATEIRO COM SILÍCIO VIA PULVERIZAÇÃO FOLIAR COM DIFERENTES FONTES

RESUMO – O mineral silício (Si) é considerado um elemento essencial para o ser humano, tendo diversas funções, especialmente a para formação óssea. O tomate é amplamente consumido no mundo, mas apresenta baixo teor de Si, não atendendo a exigência do ser humano. A pulverização foliar de Si em plantas tomate pode promover a biofortificação associada à melhora na qualidade pós-colheita, dependendo da fonte e da concentração do elemento na calda. Neste estudo, objetivou-se obter tomates biofortificados via pulverização foliar com Si, em diferentes fontes e concentrações, e avaliar sua qualidade tecnológica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em sistema de cultivo hidropônico, em vasos (8 dm^3) preenchidos com areia, contendo uma planta por vaso. Os tratamentos consistiram da combinação de quatro fontes de Si (silicato alcalino estabilizado; nanossílica; ácido silícico estabilizado e silicato de potássio) e quatro concentrações de Si (0,0; 0,2; 0,4 e 0,6 g L^{-1}), dispostos em blocos casualizados, com cinco repetições. Realizaram-se cinco pulverizações com Si nas plantas de tomate cultivar Micro Tom, iniciando-se no florescimento, uma vez por semana. A pulverização foliar de Si durante a fase reprodutiva das plantas de tomate foi eficiente para biofortificar o fruto e incrementar o teor de ácido ascórbico, a acidez titulável e a firmeza do fruto, destacando-se a fonte nanossílica e ácido silícico na concentração próxima de 0,4 g L^{-1}.

Palavras-chave: adubação foliar; nutrição óssea; qualidade do fruto; Si; silicato; *Solanum lycopersicum*.

BIOFORTIFICATION OF TOMATO VINE WITH SILICON FROM DIFFERENT SOURCES VIA FOLIAR SPRAYING

ABSTRACT - The mineral silicon (Si) is considered an essential element for humans, having several functions, especially for bone formation. Tomato is a fruit widely consumed in the world but the low Si content does not meet the standard requirements for human beings. To this end, foliar spraying of tomato plants with Si may promote biofortification associated with improved post-harvest quality, depending on the source and concentration of Si used in the spraying mixture. This study aimed at producing tomatoes biofortified with Si at varying concentrations from different sources via foliar spraying, and evaluating their technological quality as well. The experiment consisted of pots (8 dm^3) filled with sand containing one Micro-Tom cultivar tomato plant per pot in a greenhouse, in a hydroponic culture system. The treatments consisted of a combination of four Si sources (stabilized alkali metal silicate, nano silica, stabilized silicic acid, and potassium silicate) and four Si concentrations (0.0; 0.2; 0.4; and 0.6 g L^{-1}), arranged as a randomized block design, with five replications. Five spraying mixtures containing Si were applied to the tomato plants once a week as the flowering stage started. Foliar spraying of Si during the reproductive phase of tomato plants effectively biofortified the fruit, increasing the ascorbic acid content, titratable acidity and fruit firmness, highlighting as particularly effective the nano silica and silicic acid sources at the approximate concentration of 0.4 g L^{-1}.

Keywords: leaf fertilization, bone nutrition; foliar fertilization; fruit quality; Si; silicate; *Solanum lycopersicum.*

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Valores de temperaturas e umidade relativa do ar máxima e mínima na casa de vegetação, durante o desenvolvimento do experimento. Jaboticabal, SP, 2017. ..... **9**

Figura 2. Foto ilustrando a coleta dos tomates para análise (A); lavagem dos tomates com solução de detergente, solução de HCl e com água destilada (B); estufa utilizada para secagem das amostras (C); amostras secas (D), e trituradas (E). **11**

Figura 3. Refratrômetro utilizado para análise de sólidos solúveis das amostras. **12**

Figura 4. Foto ilustrando a trituração da polpa do fruto (A); adição do ácido oxálico (B); homogeneização das amostras (C); titulação da amostra com 2,6 dicloro-fenol-indofenol de sódio (D). **13**

Figura 5. Foto ilustrando a titulação das amostras com hidróxido de sódio (NaOH). **13**

Figura 6. Penetrômetro utilizado para análise de firmeza das amostras. **14**

Figura 7. Teor de Si no fruto de tomate cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano). **16**

Figura 8. Acúmulo de Si no fruto de tomate cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano). **17**

Figura 9. Sólidos solúveis (%) de tomates cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano). **19**

Figura 10. Ácido ascórbico (mg 100g $^{-1}$ polpa) de tomates cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano). **21**

Figura 11. Acidez titulável (100 g $^{-1}$ polpa) de tomates cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (SiAc) e nanossílica (Si-Nano). **22**

Figura 12. Firmeza (N) de tomates cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano). **23**

1 INTRODUÇÃO

O aumento da idade do ser humano induz maior incidência de risco de doenças associadas a deficiências nutricionais, a exemplo do Si (Wenzel et al., 2018). O silício (Si) tem um papel benéfico na formação e na saúde óssea, evitando a osteoporose (Macdonald et al., 2012). Além disso, o Si melhora a resposta imunológica ou inflamatória e na saúde mental, reduzindo o risco de desenvolver doença de Alzheimer (Nielsen, 2014; Gillette-Guyonnet et al., 2005).

Diante do baixo consumo de fibras e do beneficiamento dos cereais que diminuem o conteúdo Si nos alimentos e, consequentemente, sua ingestão podendo não estar atendendo à exigência deste elemento para o ser humano (Welch, 2018). Estudos demonstram que uma ingestão diária adequada de silício, capaz de melhorar a saúde óssea, é estimada em 40 mg por dia; entretanto, a ingestão diária média deste elemento é bem inferior (21 mg por dia de Si) (Price, 2012).

Uma forma de aumentar a ingestão de Si pelo ser humano é consumir alimentos biofortificados (Montesano et al., 2016;D'Imperio et al., 2018). Esta técnica vem sendo justificada em alimentos de consumo universal, como o tomate.

Como a cultura do tomate não é considerada uma planta acumuladora de Si (concentrações abaixo de 5 g kg^{-1} de Si) (Menegale et al., 2015), e que o aumento do elemento na planta não é proporcional a sua disponibilidade no solo ou substrato (Pereira et al., 2003; Ludwig et al., 2015). Um estudo em plantas de tomate com aplicação deste elemento no solo foi necessário uma dose muito alta (514 kg ha^{-1} de SiO_2), para elevar o teor de Si no fruto para apenas 3,2 g kg^{-1} (Marodin et al., 2014). Assim, é evidenciada a forte restrição da absorção radicular de Si pelo tomateiro, aumentando-se a viabilidade de seu fornecimento via pulverização durante o desenvolvimento do fruto, para que possa promover maiores teores do elemento benéfico neste órgão.

No entanto, não são conhecidos os efeitos da pulverização foliar com este elemento nesta espécie. O maior teor de Si no fruto pode também melhorar a qualidade, pois o elemento forma compostos (opala) abaixo da cutícula, incrementando a resistência mecânica dos frutos (Marodin et al., 2014). Além disso, o Si aumenta o teor de ácido ascórbico verificado em plantas de trigo (Ma et al.,

2016) e no fruto de tomate (Marondin et al., 2016), incrementando o valor nutricional do fruto, pois a vitamina C é um composto essencial ao ser humano.

O ótimo enriquecimento de Si nos frutos de tomate depende da qualidade da calda durante a pulverização. Um dos maiores problemas da pulverização foliar com Si seria a ocorrência da polimerização da solução, ou seja, incrementa-se a concentração de longas cadeias de Si que são formadas a partir da formação de ácido monossilícico (H_4SiO_4) e o ácido polissilícico (Perry et al., 2003; Haynes, 2017). A polimerização diminui a eficácia na absorção de Si, formando polímeros de silicato na superfície foliar e assim dificultando a absorção (Iler,1979).

Diante dessa problemática, têm surgido novas fontes de Si com adição de estabilizadores para diminuir a polimerização, pois o silicato de potássio, fonte mais utilizada na pulverização foliar de diferentes cultivos, não contém estabilizantes. Uma destas fontes seria o silicato de sódio e de potássio estabilizado com sorbitol, que é nova não tendo resultado de pesquisa. A outra é o ácido monosilícico estabilizado com polietilenoglicol (PEG), tendo sido testada em plantas leguminosas (Crusciol et al., 2013). Outra fonte alternativa seria a nanossílica constituída de partículas de óxido de Si em escala manométrica, que poderia facilitar a absorção (Laane, 2018). O desempenho agronômico destas fontes alternativas de Si em plantas de tomate não é conhecido.

Para viabilizar o uso de Si via foliar, na cultura do tomate, visando a melhorar a qualidade biológica dos frutos, é pertinente que seja respondida a seguinte hipótese. A aplicação de Si via foliar na fase reprodutiva é capaz de biofortificar frutos de tomateiro e também incrementar a qualidade tecnológica do fruto, especialmente com as fontes novas do elemento comparadas ao silicato de potássio.

Diante do exposto, objetivou-se estudar o teor de Si e a qualidade de frutos de tomates da cultivar Micro Tom em função das fontes e das concentrações de Si via pulverização foliar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do tomate (*Solanum lycopersicum*)

O conhecimento da frequência da ingestão de frutas e hortaliças pela população é importante como estratégias para orientar e estimular o consumo desses alimentos (Andrade et al., 2017).

O tomate possui grande importância socioeconômica. No Brasil, é a segunda hortaliça em valor de produção, atrás somente da batata, proporcionando renda e emprego nas regiões produtoras e disponibilizando alimento rico e de reconhecido valor nutracêutico para a sociedade (Salvador, 2017). Em um estudo de consumo de frutas e hortaliças por idosos de baixa renda, na cidade de São Paulo-SP, ficou comprovado que a hortaliça mais consumida diariamente pelos idosos foi o tomate (Viebig et al., 2009).

Sendo a hortaliça de maior preferência de consumo, o tomate está presente diariamente na alimentação das pessoas (Menezes et al., 2018). Tomates são consumidos de muitas maneiras - as frutas frescas são consumidas em saladas, sanduíches e como temperos, e as variedades processadas são consumidas secas ou como pastas, conservas, molhos, sopas e sucos.

Esta ampla aceitação está associada às características nutricionais que apresenta, sendo um alimento rico em vitaminas A e C, e de sais minerais, como Potássio e Magnésio, importantes à nutrição humana (Melo et al., 2014). Além disso, contêm antioxidantes, tais como ácido ascórbico, caroteno, ácido clorogênico, rutina, plastoquinonas, tocoferol e xantofila, bem como elementos-traço de cobre, ferro e cromo que podem atuar sinergicamente com o licopeno na prevenção de danos às células (Kaur et al., 2013)

Diante de diversos fatores benéficos ao ser humano, a ingestão recomendada de tomate fresco diário é de aproximadamente 150g e de produtos industrializados de tomate é de 50 g, para reduzir a peroxidação lipídica e proteger as células contra danos oxidativos, bem como para a redução do risco de doenças crônicas (Rao e Shen, 2002; Moura-Andrade et al., 2010).

Por ser grande a demanda a ser consumida, a área brasileira no cultivo de tomate, na safra de 2017 foi de 64,8 mil hectares, e a produção estimada, em valor de 4,40 milhões de toneladas, sendo a hortaliça de maior produtividade com (81,1

t/ha) entre as hortaliças (CNA, 2017). Os quatro maiores estados produtores são: Goiás com 28% da produção nacional, São Paulo (21%), Minas Gerias (15%) e Paraná (6%). Estes estados respondem por aproximadamente 71% do total dos frutos produzido no País (Andrade, 2017).

O tomate também é um dos vegetais mais populares em todo o mundo. A produção mundial foi de 177 milhões de toneladas, e o maior produtor de tomates é a China (56,5 milhões de toneladas) (FAO, 2016). China, Índia, Estados Unidos da América, Egito, Irã, Itália, Espanha e Brasil são os maiores produtores, com 67% do total mundial desta solanácea (Salvador, 2017). A produção brasileira no ano de 2016 foi de 4,1 milhões de toneladas, correspondendo a 2% do total mundial (FAO, 2016).

Apesar dessa popularidade universal, houve pouca melhora na qualidade das variedades de tomate comercialmente produzidas, mesmo diante da insatisfação do consumidor por mais de 35 anos (Beckles et al., 2012). Assim, o hábito do consumidor brasileiro também tem passado por fortes mudanças, pois os consumidores estão mais informados no momento da compra e passam a exigir mais qualidade do produto (Rosset et al., 2018).

O tomateiro utilizado nesta pesquisa foi o da cultivar Micro-Tom (MT) que foi criado inicialmente para fins ornamentais (Martí et al., 2006), mas seu ciclo de vida rápido e o alto rendimento indicam que a MT é uma cultivar com grande potencial como sistema modelo de tomate (Meissner et al., 1997).

O tomateiro MT apresenta porte pequeno, crescimento rápido e ciclo de crescimento médio de 70 a 90 dias, podendo ser cultivado em recipientes com reduzido volume de substrato (Martí et al., 2006).

Diante deste cenário, devido ao alto consumo desta hortaliça, a melhoria da qualidade a partir da biofortificação agronômica e com incremento do valor nutricional e com maior resistência mecânica do fruto ao transporte é importante para fortalecer a cadeia produtiva da cultura do tomateiro. Para isso, tem-se a opção da nutrição do fruto com silício, que poderia melhorar sua qualidade.

2.3 Fontes de Si em hortaliças

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante, tanto na superfície da terra como no solo (Gong et al., 2006). A maioria do silício no solo é insolúvel e não está disponível para as plantas devido à sua combinação com outros elementos para formar óxidos ou silicatos (Ali et al., 2012).

O conteúdo de Si nos tecidos vegetais está geralmente relacionado com a espécie (D'Imperio et al., 2016). As plantas podem ser divididas de acordo com sua capacidade de absorção e acúmulo de Si nos órgãos, e esta quantificação é altamente variável entre as espécies. São considerados três grupos: plantas acumuladoras (entre 100 e 150g kg^{-1} de Si), intermediárias (10 a 50 g kg^{-1} de Si) e não acumuladoras (concentrações abaixo de 5 g kg^{-1} de Si) (Menegale et al., 2015). O tomate é considerado uma planta não acumuladora de Si, pois o aumento do elemento na planta não é proporcional a sua disponibilidade no solo ou no substrato (Pereira et al., 2003).

Embora o Si não seja essencial para a maioria das plantas (Epstein, 2009), a aplicação de silicatos tem aumentado a resistência das plantas às pragas, principalmente pela sua capacidade de acumulação na parte externa da parede celular (Dalastra et al., 2011), aumentando assim a síntese de compostos fenólicos e de lignina (Santos et al., 2012). Além disso, a nutrição adequada com Si interfere na arquitetura da planta, fornecendo folhas mais eretas, aumentando a intercepção de radiação solar e sua eficiência fotossintética (Marodin et al., 2014).

O Si é um elemento benéfico para o crescimento e a produção de várias hortaliças, e sua aplicação via foliar foi satisfatória no crescimento, na fotossíntese bem como no aumento da produção de diversas culturas (Pereira et al., 2003; Zhang et al., 2013).

As pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o fornecimento de Si via pulverização foliar na forma de silicato de potássio. Essa fonte é usualmente utilizada em pesquisas, como alternativas viáveis de fertilização, usando quantidades menores e melhorando a qualidade da calda e ampliando seus efeitos benéficos (Ali et al., 2012; Pereira et al., 2003; Zhang et al., 2013; Islam et al., 2018).

Estudos com fontes alternativas de Si via foliar (nanossílica, ácido monosilícico) podem ser promissoras em hortaliças. Com a pulverização foliar com

Si na superfície foliar, pode ocorrer a polimerização, que é o aumento da concentração de longas cadeias de Si, o que diminui a eficácia na absorção de Si (Iler, 1979). Portanto, fontes alternativas de Si pode diminuir a polimerização devido a adição de estabilizantes e melhorando a absorção do elemento pelas plantas.

Com a fonte nanossílica na cultura do pepino, houve aumento na altura da planta (cm), no número de folhas por planta, na massa fresca e seca de folhas por planta (g), número de frutos por planta, massa média da fruta, no comprimento do fruto e na produção, em comparação com plantas não tratadas (Yassen et al., 2017).

Um estudo foi realizado com a fonte ácido monosilícico na cultura da batata, em três variedades. Os resultados indicaram, em todos os casos, aumentos de até 20% para as variáveis: tamanho foliar e teor de clorofila, e o status de nutrientes foi melhorado significativamente (Soratto et al., 2012; Laane, 2018). Na cultura da cebola, o resultado indicou aumento próximo de 10% na produtividade da cultura (Kamp et al., 2014; Laane, 2018).

A fonte de Si silicato de sódio e potássio estabilizado é uma fonte nova, não tendo relatos de efeitos benéficos.

Na cultura do tomate, as fontes alternativas via foliar não foram pesquisadas, havendo estudos restritos com silicato de potássio.

Rodrigues et al. (2016), avaliaram concentrações de Si na forma de silicato de potássio, observando incremento na produção de frutos classe AA e na produção total. Este efeito pode ser atribuído aos ganhos fisiológicos e, em específico, na fotossíntese, pois houve incremento nos teores de clorofila a, b e total.

Um aspecto importante do Si nas hortaliças seria no incremento da qualidade do fruto iniciando-se a partir de sua biofortificação.

2.4 Biofortication de plantas com silício

Pesquisas realizadas utilizando microanálises com sonda eletrônica de várias regiões do osso determinaram que o Si é vinte e cinco vezes mais concentrado em osteóide imaturo do que no osso maduro, e concluem que o Si desempenha um papel importante no processo de mineralização dos ossos (Carlisle, 1970). Entretanto, a relação entre Si e mineralização óssea é pouco conhecida. Estudos em animais e células mostraram que o Si é necessário para o desenvolvimento normal

dos ossos e dos tecidos conjuntivos, mas há poucos estudos examinando o Si dietético em humanos (Carlisle, 1972; Nielsen et al., 2004).

O acúmulo de evidências ao longo dos últimos 30 anos demonstra que o Si é benéfico para a saúde dos tecidos ósseo e conjuntivo, e recentemente foram relataram fortes associações positivas entre a ingestão de Si e a densidade mineral óssea (Macdonald et al., 2012).

Nesse cenário, a biofortificação de plantas com Si pode ser uma alternativa para a saúde óssea de seres humanos. A técnica é importante, pois consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos durante seu processo produtivo. Isso pode ser feito de duas maneiras: pelo melhoramento genético das culturas (convencional ou transgenia) e/ou pelo manejo da cultura, em especial da adubação (SBCS, 2016). Sendo o enriquecimento dos alimentos via adubação a alternativa com baixo custo e acessível, modificando apenas o manejo da cultura (SBCS, 2016).

A biofortificação de plantas provoca crescente interesse como ferramenta para melhorar o valor nutricional de plantas alimentares, no âmbito do atual desafio mundial para produzir de forma sustentável (Murgia et al., 2013).

Há pesquisas com biofortificação de Si em diversas culturas (feijão, tatsoi, couve-mizuna, beldroega, manjericão, acelga e chicória) (Montesano et al., 2016; D'Imperio et al., 2016; D'Imperio et al. 2018) utilizando solução nutritiva com Si. No entanto, a pesquisa com Si fornecida via pulverização foliar, na cultura do tomate é restrita.

Diante disto, a ingestão de alimentos biofortificados pode garantir o atendimento da exigência do ser humano. Estudo demonstra que uma ingestão adequada é capaz de melhorar a saúde óssea, pois a ingestão média diária da população é de 21 mg por dia de Si; e para melhorar a densidade óssea a ingestão adequada seria superior a 40 mg por dia de Si (Price et al., 2012).

Diante disto, é necessário saber a quantidade adequada a ser consumida de tomates para satisfazer a necessidade diária do ser humano e, assim, melhorar a densidade óssea.

2.5 Silício na qualidade tecnológica do tomate

A pulverização foliar com Si, ao enriquecer o fruto com o elemento, garante sua biofortificação. Além disso, é importante avançar nos estudos para verificar outras melhorias do Si na qualidade dos frutos do tomate.

Um estudo avaliou o efeito da aplicação de Si na conservação pós-colheita de frutos de tomate tratados com fontes (silicato de potássio, sódio e cálcio) nas doses 0; 100; 200; 400 e 800 kg ha^{-1} de SiO_2 (Marodin et al., 2016). Os resultados indicaram melhorias na qualidade e nas propriedades pós-colheita e físico-químicas dos frutos como os sólidos solúveis, firmeza, teor de vitamina C e de licopeno.

Em estudo semelhante, também foi observado que houve aumento no rendimento e reduziu os frutos de tomate rachado/danificado (Marodin et al., 2014). Um estudo sobre a pulverização foliar com Si, na qualidade do tomateiro, foi realizado utilizando a concentração de 17 mM (Si) na forma de dióxido de silício, pulverizando 50 mL na planta inteira, uma vez por semana durante cinco semanas. Os resultados demonstraram que o silício diminuiu a respiração e o etileno em frutos de tomate, aumentou a firmeza no momento da colheita e manteve-o após o armazenamento, ocasionando menor perda de peso fresco e aumento do teor de vitamina C e da vida útil (Islam et al., 2018).

Observa-se que, neste estudo, foi empregada concentração relativamente alta de Si na calda, impregnado fonte não solúvel. Portanto, é importante conhecer novas fontes e concentrações de Si para a pulverização foliar do tomateiro.

Desta forma, acredita-se que a maior disponibilidade desse elemento benéfico via pulverização foliar, a partir do florescimento, para as plantas resultaria em aumento significativo dos teores de Si nos tecidos e, assim, poderia fornecer uma nutrição saudável aos humanos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, Brasil, coordenadas geográficas de 21°15’22”S e 48°18’58”W, no período de abril a setembro de 2017, por meio de sistema hidropônico de cultivo, utilizando plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivar Micro Tom.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar máxima e mínima foram coletados diariamente, dentro da casa de vegetação, durante o período do transplantio até a colheita do experimento (Figura 1). Nota-se que a temperatura máxima não atingiu valores acima da faixa considerada adequada a cultura que seria de 13 a 35°C (Makishima, 1995).

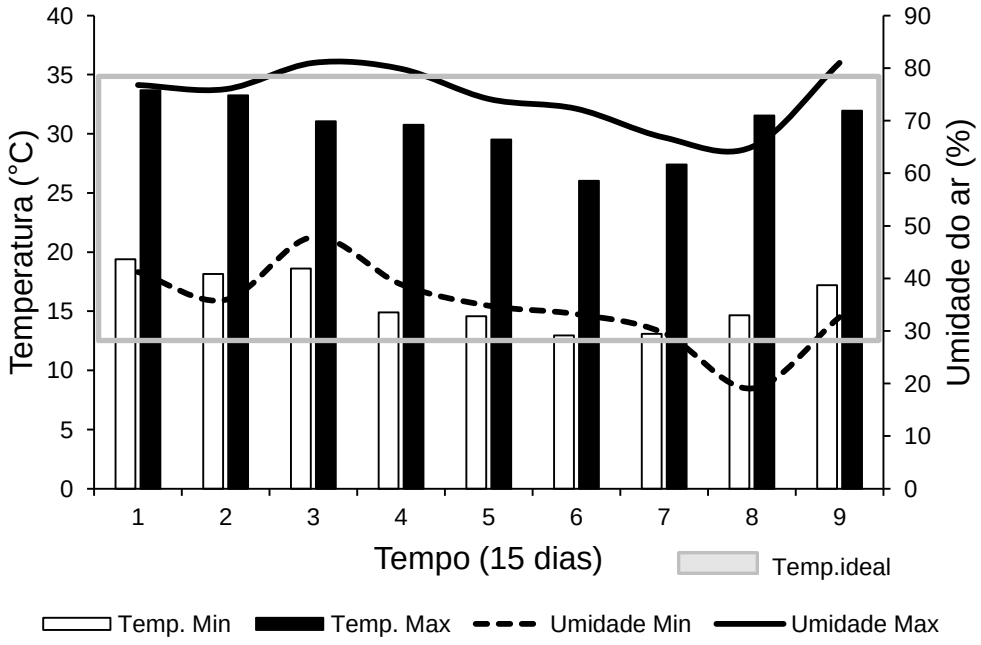


Figura 1. Valores de temperaturas e umidade relativa do ar máxima e mínima na casa de vegetação, durante o desenvolvimento do experimento. Jaboticabal, SP, 2017.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial 4x4, sendo o primeiro fator correspondente a quatro fontes de Si: silicato de potássio (Si-K) (128,00 g L^{-1} de Si); silicato alcalino (Si-Al) (113,40 g L^{-1} de Si); ácido silícico (Si-Ac)

(14,04 g L^{-1} de Si) e a nanossílica (Si-Nano) (77,12 g L^{-1} de Si); o segundo fator correspondeu a quatro concentrações de Si: 0,0; 0,2; 0,4; 0,6 g L^{-1}. As quantidades das fontes empregadas variaram de acordo com os tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos utilizados no experimento

Fonte de Si	**Quantidade da fonte utilizada**	**Concentração de Si**
	ml 250mL^{-1}	**g L^{-1}**
Testemunha	0,0	0,0
	0,39	0,2
Si-K	0,78	0,4
	1,17	0,6
	0,44	0,2
Si-Al	0,88	0,4
	1,32	0,6
	3,56	0,2
Si-Ac	7,12	0,4
	10,68	0,6
	0,65	0,2
Si-Nano	1,30	0,4
	1,95	0,6

As parcelas experimentais foram constituídas de uma planta por vaso de polietileno com capacidade de 5 dm^3, contendo o coletor da solução nutritiva.

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor, e preenchida com vermiculita, irrigada com água deionizada até à emergência das plântulas. Aos vinte e três dias após a emergência (DAE), as plântulas foram transferidas para vasos com areia previamente lavada com água corrente, em peneira fina, e iniciada a aplicação de solução nutritiva.

Foi utilizada solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), com modificação da fonte de ferro para Fe-EDDHMA, mantendo o valor pH da solução nutritiva igual a 5,5 ± 0,5, a partir do uso da solução com HCl ou NaOH a 0,1 M.

Aos vinte e três DAE iniciou-se aplicação da solução nutritiva com força iônica de 25%, e aos trinta e oito dias após o transplante (DAT) iniciou-se aplicação da solução nutritiva com força iônica de 50% permanecendo até o final do ciclo. Todas as soluções nutritivas foram preparadas com o uso de água deionizada.

As pulverizações foliares de Si foram realizadas iniciando no florescimento, a cada 7 dias, durante cinco semanas, até à frutificação. O volume variou de acordo com o crescimento da planta e a abertura de flores (Tabela 2).

Tabela 2. Pulverizações de Si foliar por planta empregado no experimento

Semana	Nº de pulverizações	Volume por planta
1	3	1,8 mL
2	5	3,0 mL
3	7	4,2 mL
4	5	3,0 mL
5	3	1,8 mL

Durante as aplicações foliares, a superfície do vaso foi coberta com algodão para evitar deposição de calda e, consequentemente, absorção radicular. Antes da aplicação foliar dos tratamentos, a calda foi preparada utilizando-se de água deionizada, mantendo o valor pH da respectiva fonte de Si.

No final do experimento, foram coletadas amostras de quatro frutos de tomate em cada unidade experimental. Em seguida, os frutos foram lavados com solução de detergente, solução de HCl 0,1M e com água destilada, e posteriormente foi realizada a secagem em estufa com circulação forçada de ar, em temperatura de 65ºC, até atingir massa constante (Figura 2).



Figura 02. Foto ilustrando a coleta dos tomates para análise (A); lavagem dos tomates com solução de detergente, solução de HCl e com água destilada (B); estufa utilizada para secagem das amostras (C); amostras secas (D), e trituradas (E).

Em seguida, o material vegetal foi pesado para a obtenção da massa seca e triturado para determinar o teor de silício no tecido vegetal, conforme a metodologia proposta por Kraska e Breitenbeck (2010). A partir da massa seca e do teor de Si, foi calculado o acúmulo deste elemento nos frutos de tomate.

Para determinar as qualidades química e física dos frutos, foram feitas análises de pós-colheita. Devido ao tamanho e ao peso do tomate, apenas quinze frutos por parcela foram coletados, e assim foi feita uma amostra composta, e os frutos foram escolhidos aleatoriamente para as análises.

O conteúdo de sólidos solúveis e da acidez titulável foi obtido mediante análise em polpa homogeneizada dos tomates por um processador de alimentos portátil (Mondial Super Centrifuga Premium®).

Os sólidos solúveis foram determinados em refratômetro manual digital (Atago Palette, PR-101®), com intervalo de medição de 0 a 45% ± 0,1%, utilizando-se do líquido obtido da polpa triturada. Os resultados foram expressos em porcentagem. (Figura 3).



Figura 03 – Refratrômetro utilizado para análise de sólidos solúveis das amostras.

A acidez titulável foi determinada em 10 gramas da polpa homogeneizada, diluída em 50 mL de água destilada, pela titulação com solução padronizada de NaOH a 0,1N até o pH da solução atingir 8,1. O resultado foi expresso em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa (Instituto Adolfo Lutz, 2008) (Figura 4).



Figura 04 – Foto ilustrando a titulação das amostras com hidróxido de sódio (NaOH)

O teor de vitamina C foi determinado a partir de 10 gramas de polpa triturada, adicionada de 70 mL de ácido oxálico a 0,5%, frio, que após agitação e filtragem, teve seu volume completado para 100 mL com o mesmo reagente. A quantificação foi feita através de titulometria com solução de 2,6 dicloro-fenol-indofenol de sódio; e os resultados, expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa (AOAC, 1997) (Figura 5).

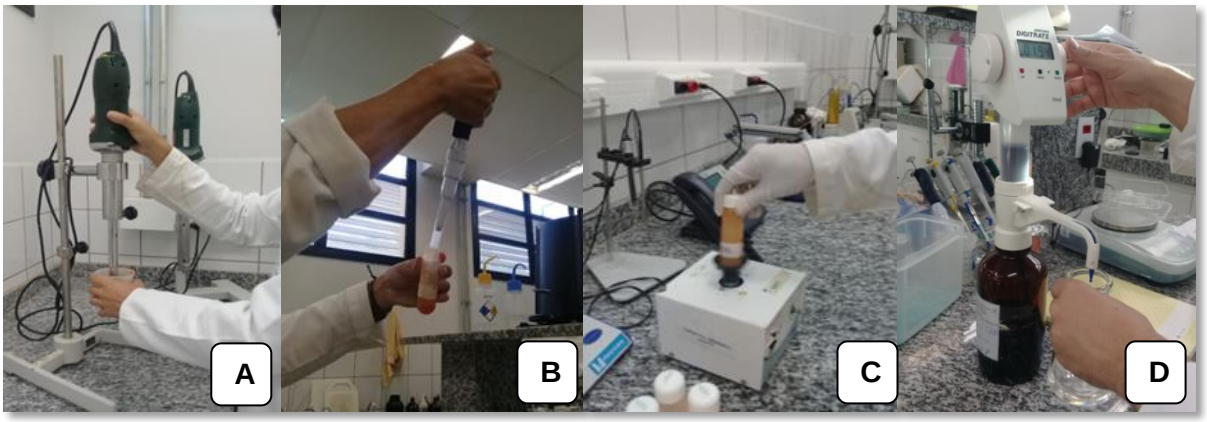


Figura 05. Foto ilustrando a trituração da polpa do fruto (A); adição do ácido oxálico (B); homogeneização das amostras (C); titulação da amostra com 2,6 dicloro-fenol-indofenol de sódio (D).

A firmeza foi medida utilizando-se de penetrômetro digital de 5 a 200 N ± 1 N (Impac, Modelo IP-90D®I, São Paulo-SP, Brasil), com ponteira de 8 mm. Foram avaliados cinco frutos de cada repetição, realizando-se a leitura em dois pontos opostos, na região equatorial, após a retirada da película dos frutos. A medida foi expressa como a força, em Newton (N), necessária para penetrar a polpa do tomate (Figura 6).



Figura 06 - Penetrômetro utilizado para análise de firmeza das amostras.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se do teste F, ao nível de 5% de probabilidade. Quando significativa, as fontes de Si foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, e para as concentrações de Si, foi realizada a análise de regressão polinomial. As análises foram realizadas empregando-se o programa estatístico Agrostat® (Barbosa; Maldonado Júnior, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre as fontes e as concentrações de Si para todas as variáveis estudadas (Figuras 7, 8, 9, 10, 11 e 12). O teor de Si no fruto aumentou com a pulverização do elemento nas diferentes fontes, tendo ajuste linear para as fontes silicato alcalino (Si-Al), ácido silícico (Si-Ac) e nanossílica (Si-Nano) e quadrática para a fonte silicato de potássio (Si-K). A pulverização foliar com Si-K promoveu máximo teor de Si no fruto de 9,79 g kg^{-1} nas concentrações de 0,36 g L^{-1}. Nota-se que a pulverização foliar com Si é viável por promover a biofortificação atingindo aumento de 79,91%; 81,85 % e 88% no teor de Si dos frutos com as fontes Si-Nano, Si-Ac e Si-Al, respectivamente, em relação ao controle.

Observou-se que a fonte de Si que promoveu maior teor de Si no fruto na concentração de 0,6 g L^{-1} foram Si-Al, Si-Ac e Si-Nano, e na concentração de 0,4 g L^{-1} pulverizada com a fonte Si-Ac, foi semelhante a Si-Nano, mas superiores ao Si-K (Figura 7).

Os estudos com biofortificação com Si predominam com a fonte silicato de potássio fornecido via solução nutritiva de cultivo em hortaliças, mas restrita apenas ao grupo das folhosas (couve, manjericão e acelga) não acumuladoras do elemento indicando aumento do teor deste elemento nas folhas (D'Imperio et al., 2016; D'Imperio et al. 2018). No entanto, não existem relatos com o fornecimento de Si via pulverização foliar em plantas de tomate, dificultando a discussão dos resultados.

O potencial do uso da pulverização foliar com Si em sua biofortificação, na *Solanum lycopersicum* é alta, pois os teores do elemento nos frutos atingiram valores de 13 g kg^{-1} de Si (Figura 7), bem acima dos teores obtidos por outros autores, mas quando fornecido o Si via solo (3-4 g kg^{-1} de Si) (Marodin et al., 2014; Marodin et al., 2016).

Essa baixa eficiência da biofortificação via aplicação do elemento no solo deve-se ao fato de que a planta, sendo não acumuladora, tem baixa absorção radicular do elemento, ao passo que a via foliar não teria esse impedimento para absorção, já que a pulverização está sendo direcionada diretamente no fruto.

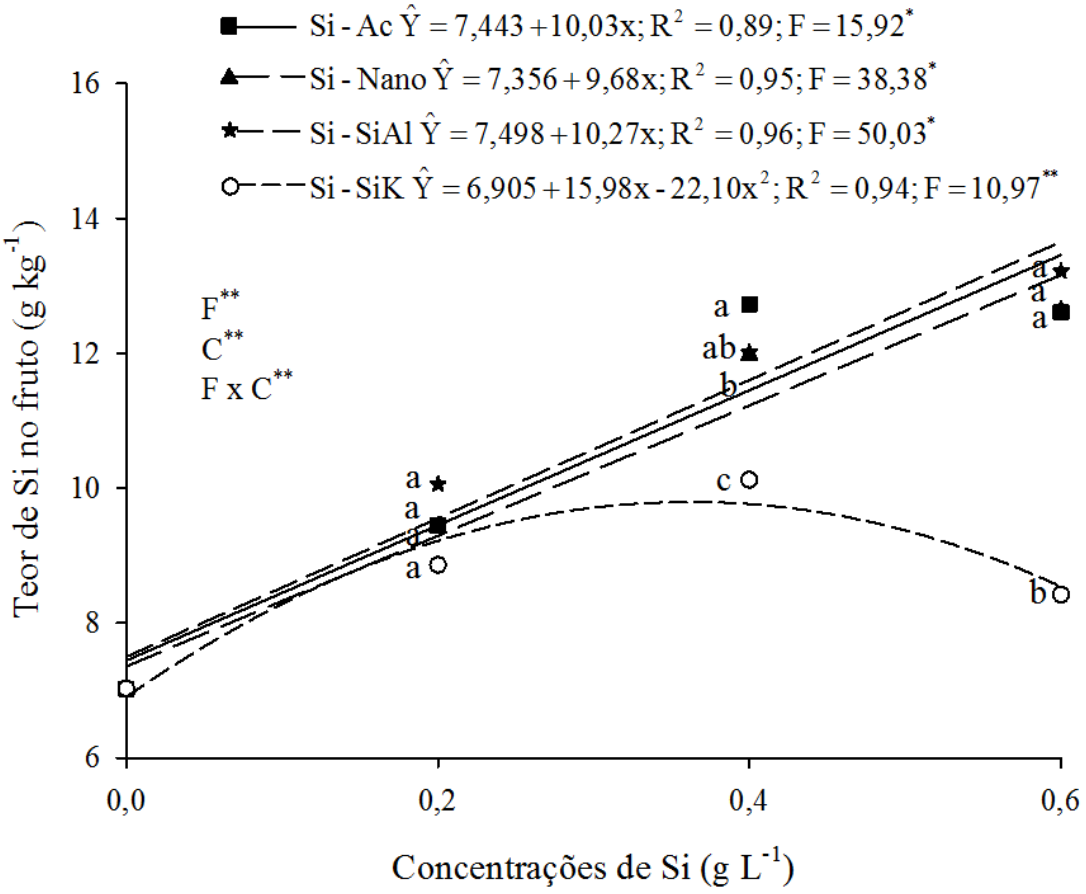


Figura 7. Teor de Si no fruto de tomate cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano). **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

A aplicação foliar de Si resultou em incremento quadrático do acúmulo de Si no fruto, atingindo ponto de máximo de 4,93 g fruto^{-1}; 6,28 g fruto^{-1}; nas concentrações 0,40; 0,43 g L^{-1} de Si; para as fontes SiK, AcSi, respectivamente,e enquanto a aplicação foliar de Si nas formas SiAl e Nano incrementaram de forma linear o acúmulo de Si no fruto. Observa-se, na maior concentração de Si que as fontes novas (SiAl e Nano) foram superiores às da fonte-padrão, silicato de potássio (Figura 8).

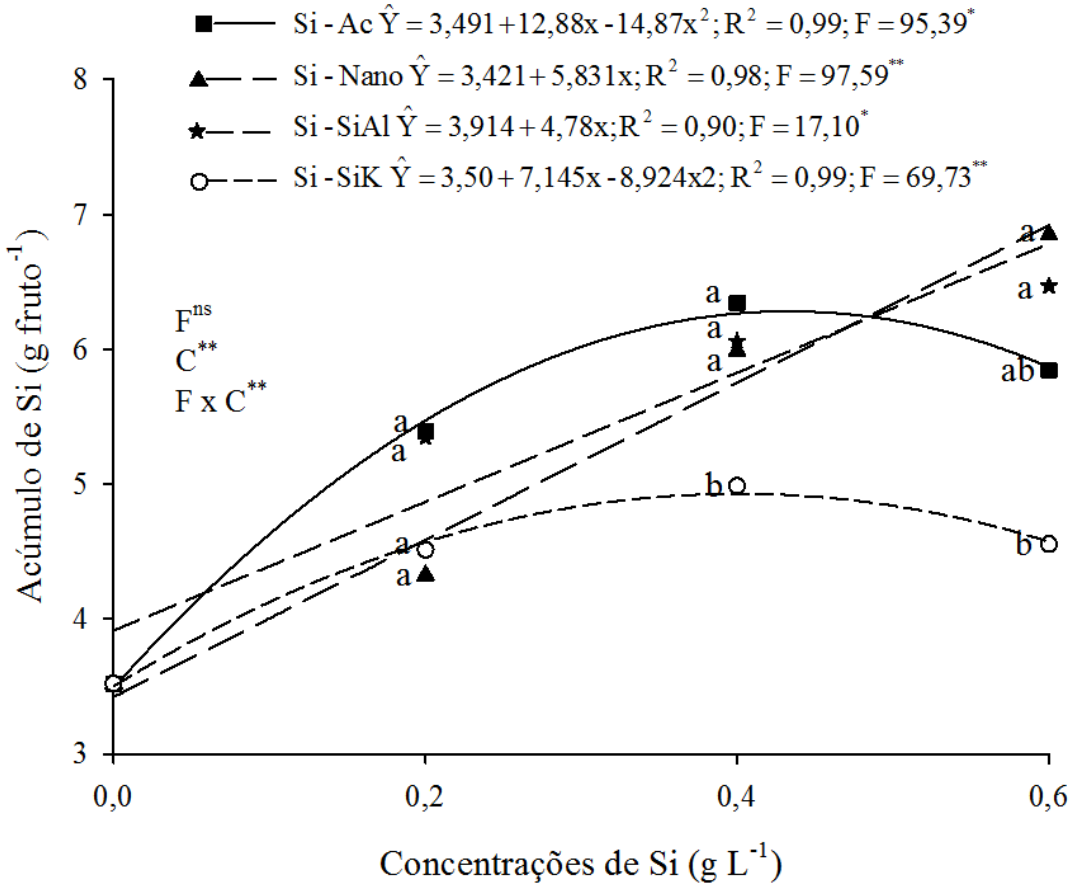


Figura 8. Acúmulo de Si no fruto de tomate cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano).** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

A pulverização foliar de Si incrementou seu acúmulo no fruto devido ao aumento do teor de Si no fruto, pois a massa da matéria seca manteve-se constante (Tabela 1). Este fato implica que a biofortificação foi eficaz, pois quanto maior a quantidade de Si acumulada do elemento no fruto, menor a quantidade de tomate a ser ingerida para atender à exigência diária do ser humano (Tabela 3). Observa-se que tomate sem biofortificação é necessária a ingestão de 65,1g de fruto, ao passo que o biofortificado é inferior. Observa-se que, em frutos pulverizados nas concentrações de 0,4 e 0,6 g L^{-1} de Si, a quantidade a ser ingerida para atender sua exigência seria de apenas 46,3 e 56,0 g de fruto (Si-K), 35,2 e 34,2 g de fruto (Si-Al)

e 34,7 e 35,8 g de fruto (Si-Ac) e 33,1 e 32,4 g de fruto (Si-Nano), respectivamente. Portanto, a viabilidade da biofortificação com silício, nos frutos de tomate, deve beneficiar a nutrição humana e a saúde óssea (Price, 2012), evitando a osteoporose, que é uma epidemia silenciosa que atinge milhares de pessoas no mundo (Jugdaohsingh et al., 2004).

Tabela 3. Massa seca, acúmulo de Si no fruto e quantidade de tomates necessária para suprir o requerimento diário de Si, em tomate cultivar Micro Tom, em função das concentrações de silício nas fontes: silicato de potássio (Si-K), silicato Alcalino (Si-Al), ácido silícico (Si-Ac), Nanossílica (Si-Nano).

Concentração de silício	**Massa seca**	**Acúmulo**	**Quantidade de Si**	**Quantidade de tomate***
	g por fruto	g por fruto	mg por 150g	g
	Não bioforticada			
0,0	0,50	3,51	92,14	65,12
	Si-K			
0,2	0,51	4,51	124,29	48,28
0,4	0,50	5,06	129,46	46,34
0,6	0,54	4,54	107,15	56,00
	Si- Al			
0,2	0,53	5,33	136,40	43,99
0,4	0,50	6,00	170,23	35,24
0,6	0,51	6,47	175,20	34,20
	Si - Ac			
0,2	0,57	5,38	124,78	48,08
0,4	0,50	6,36	173,00	34,68
0,6	0,46	5,80	167,81	35,76
	Si-Nano			
0,2	0,46	4,33	142,78	42,02
0,4	0,50	5,99	181,12	33,12
0,6	0,54	6,82	185,30	32,38

*Requerimento diário de 40 mg por dia Si (Prince, 2012).

Assim como o teor de Si, a biofortificação também incrementou o teor de sólidos solúveis, melhorando o valor nutricional dos tomates com componentes orgânicos e inorgânicos (Figura 9). A biofortificação de Si incrementou os sólidos solúveis, proporcionando um comportamento quadrático para a maioria das fontes de Si. A biofortificação proporcionou um comportamento quadrático para todas as

fontes de Si, sendo a fonte Nano a que melhor incrementou em todas as concentrações, e o SiAl incrementou na concentração de 0,38 g L^{-1}, que proporcionou o máximo de sólidos solúveis (6,79%).

Estes resultados estão em conformidade com os relatados por Marodin et al. (2016), em que, no tomateiro, os teores de sólidos solúveis aumenta com a aplicação de Si. Isto se deve ao fato de um dos efeitos benéficos do Si estar associados com aumento da taxa fotossintética em folhas de tomates (Silva et al., 2012) e da produção de açúcar translocado para o desenvolvimento de frutos (Beckles, 2012).

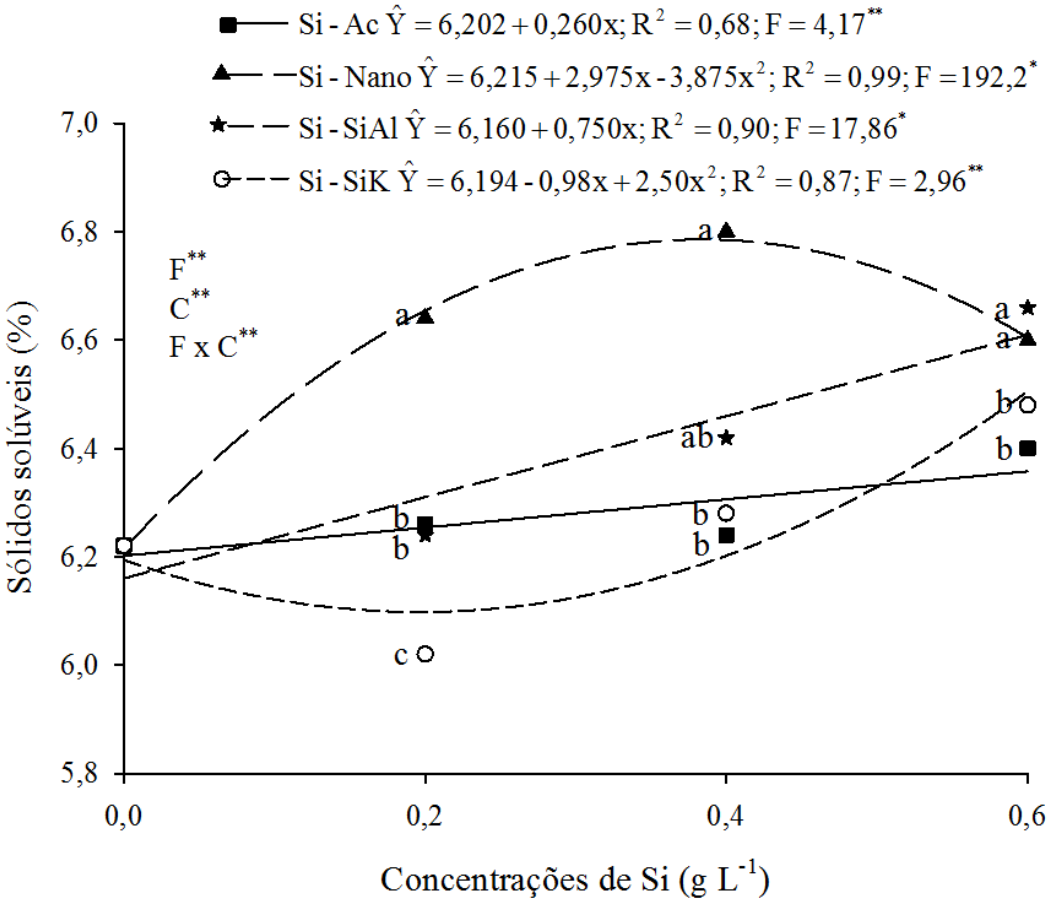


Figura 9. Sólidos solúveis (%) de tomates cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano).** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Letras iguais não difere entre si pelo teste de tukey a 5 % de probabilidade. Jaboticabal, SP, 2017.

A pulverização foliar com Si proporcionou um aumento linear no teor de ácido ascórbico do fruto para a todas as fontes com exceção do Si-Al, que proporcionou um incremento quadrático. A concentração de 0,47 g L^{-1} de Si da fonte Si-Al, proporcionou o máximo de ácido ascórbico em 49,85 mg/100g (Figura 10). Marodin et al. (2016) também verificaram esse efeito do Si no teor de ácido ascórbico no fruto de tomate mas com aplicação do elemento no solo em altas doses (491 kg ha^{-1} de SiO_2) que resultando no maior teor de ácido ascórbico (21 mg/100g). Nota-se que a pulverização foliar com Si, na forma de Si-Al, promoveu o dobro do teor de ácido ascórbico no fruto; portanto, sendo mais eficiente para melhorar o valor nutricional do fruto em relação ao fornecimento do elemento no solo.

Observou-se que, na concentração de Si de 0,4 g L^{-1}, a fonte Si-Ac resultou em maior teor de ácido ascórbico em relação ao Si-K, mas sendo semelhante à fonte Si-Al (Figura 10). E na maior concentração de Si pulverizado nos frutos, as fontes Si-Al e Si-Ac destacaram em relação ao Si-K, ao promoverem maior teor de ácido ascórbico no fruto.

Esta melhoria do valor nutricional do fruto ocorreu devido ao fato de que a pulverização foliar de Si foi eficiente em incrementar seu teor e acúmulo no tecido vegetal e proporcionar alto teor de ácido ascórbico no fruto. No entanto, o papel metabólico do Si na biossíntese do ácido ascórbico, no fruto de tomate, ainda não está claro (Marodin et al., 2016).

Diante disto, os dados da variável ácido ascórbico reforçam a indicação que a absorção de Si pode melhorar a qualidade nutricional de frutos de tomates.

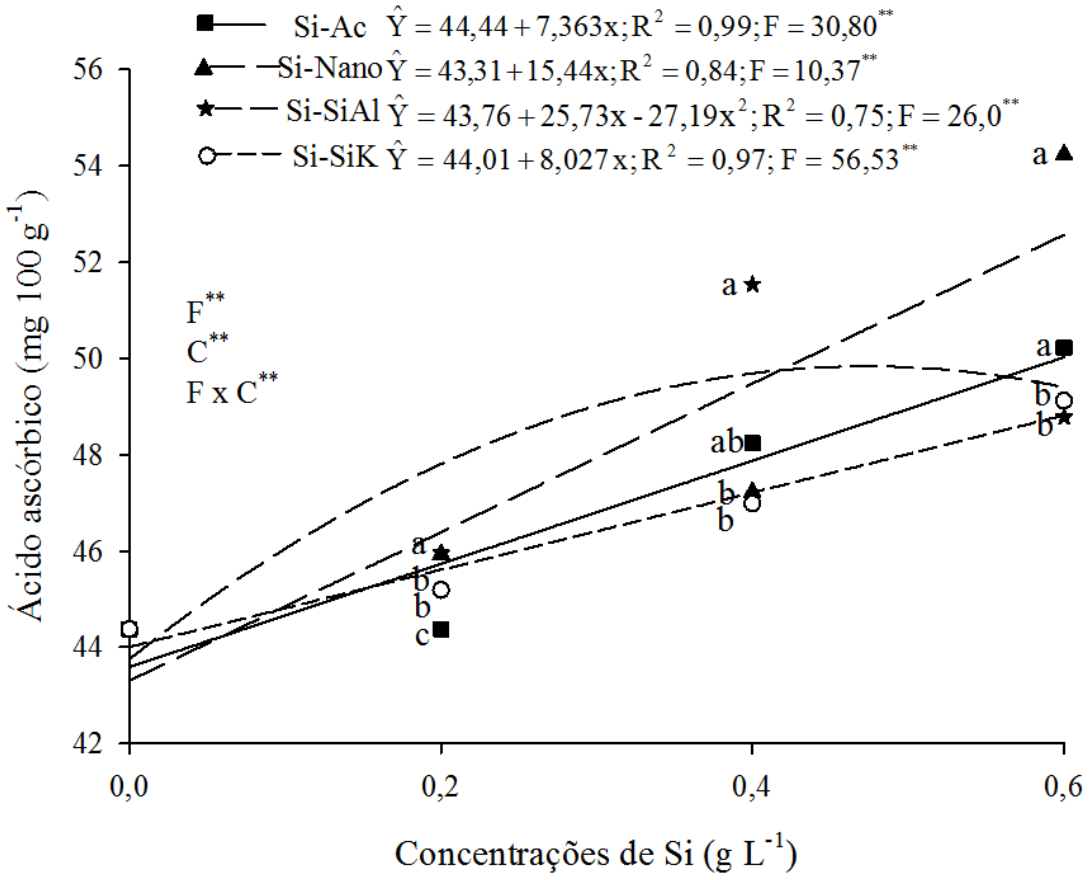


Figura 10. Ácido ascórbico (mg 100g $^{-1}$ polpa) de tomates cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano) ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de tukey a 5 % de probabilidade. Jaboticabal-SP, 2017.

Também foi observado que a pulverização foliar com Si foi benéfica na qualidade tecnológica de tomates, pois as fontes de Si estudadas incrementaram com ajuste quadrático na acidez titulável do fruto, exceto Si-Nano, que teve aumento com ajuste linear (Figura 11). A aplicação foliar de Si na forma de Si-Al, Si-Ac e Si-K proporcionou a máxima acidez titulável do fruto, iguais a Si-Al, Si-K e Si-Nano, que proporcionaram a máxima acidez titulável do fruto, iguais a 0,085; 0,09 e 0,10 nas concentrações de Si 0,36; 0,32 e 0,52 g L^{-1} de Si, respectivamente (Figura 11).

Observa-se que a pulverização foliar na concentração de Si igual a 0,4 g L^{-1}, na forma de Si-Nano, em relação às demais fontes, proporcionou maior acidez titulável do fruto (Figura 11). Na maior concentração de Si pulverizada, as fontes deste elemento que se destacaram, foram as fontes nova (Si-Ac e Si-Nano) na acidez titulável do fruto.

Estes resultados reforçam que o Si induz aumento da acidez titulável, fato inédito, pois não foram encontrados relatos na literatura.

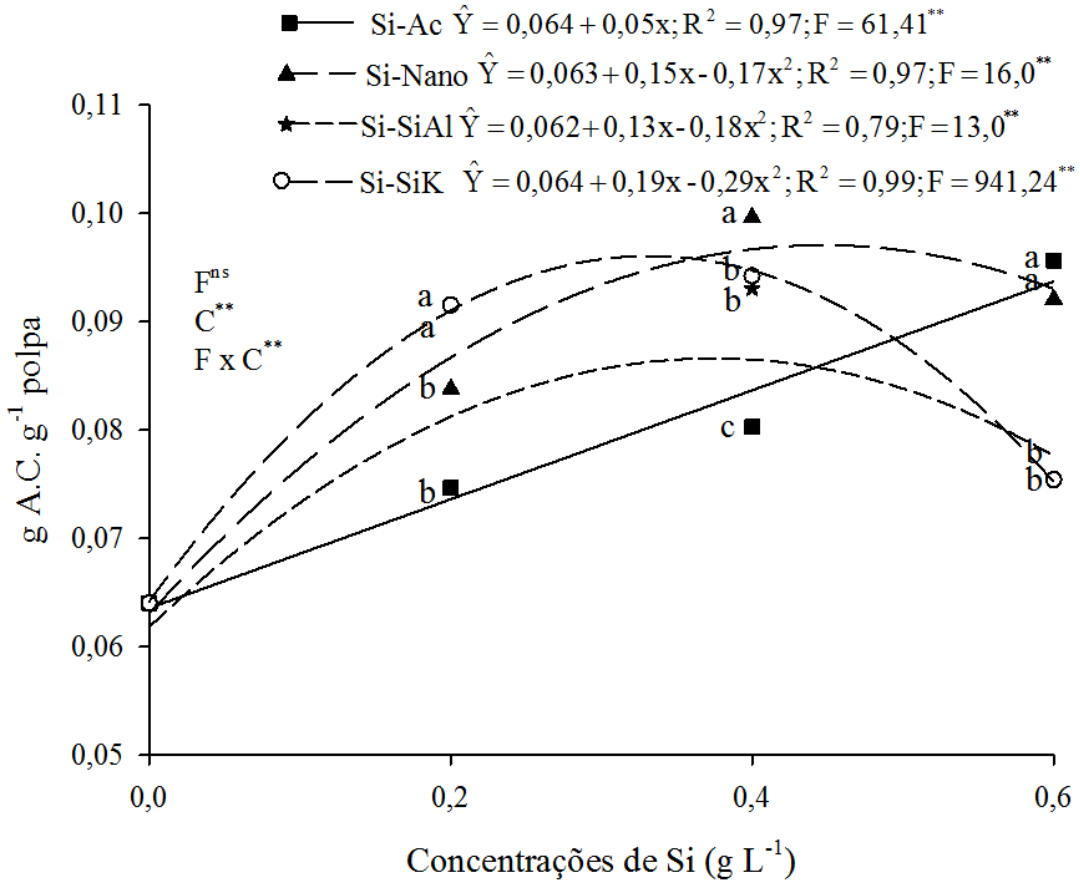


Figura 11. Grama (g) de Ácido Cítrico por 100 g de polpa de tomates cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (SiAc) e nanossílica (Si-Nano).** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Jaboticabal-SP, 2017.

A pulverização foliar de Si também incrementou a qualidade tecnológica para o índice de firmeza do fruto com ajuste quadrático para as fontes Si-Nano, Si-K e Si-Al e com ajuste linear para a fonte Si-Ac (Figura 12). Observou-se que a pulverização com Si proporcionou o maior índice de firmezas, iguais a 8,03N; 8,42N e 8,84 N, nas concentrações 0,42 g; 0,46 g e 0,48 g L^{-1} de Si utilizando as fontes Si-Nano, Si-K e Si-Al, respectivamente (Figura 12), enquanto, a pulverização foliar de Si na forma de Si-Ac na concentração do elemento igual a 0,6 g L^{-1} proporcionou maior índice de firmeza (9,4N).

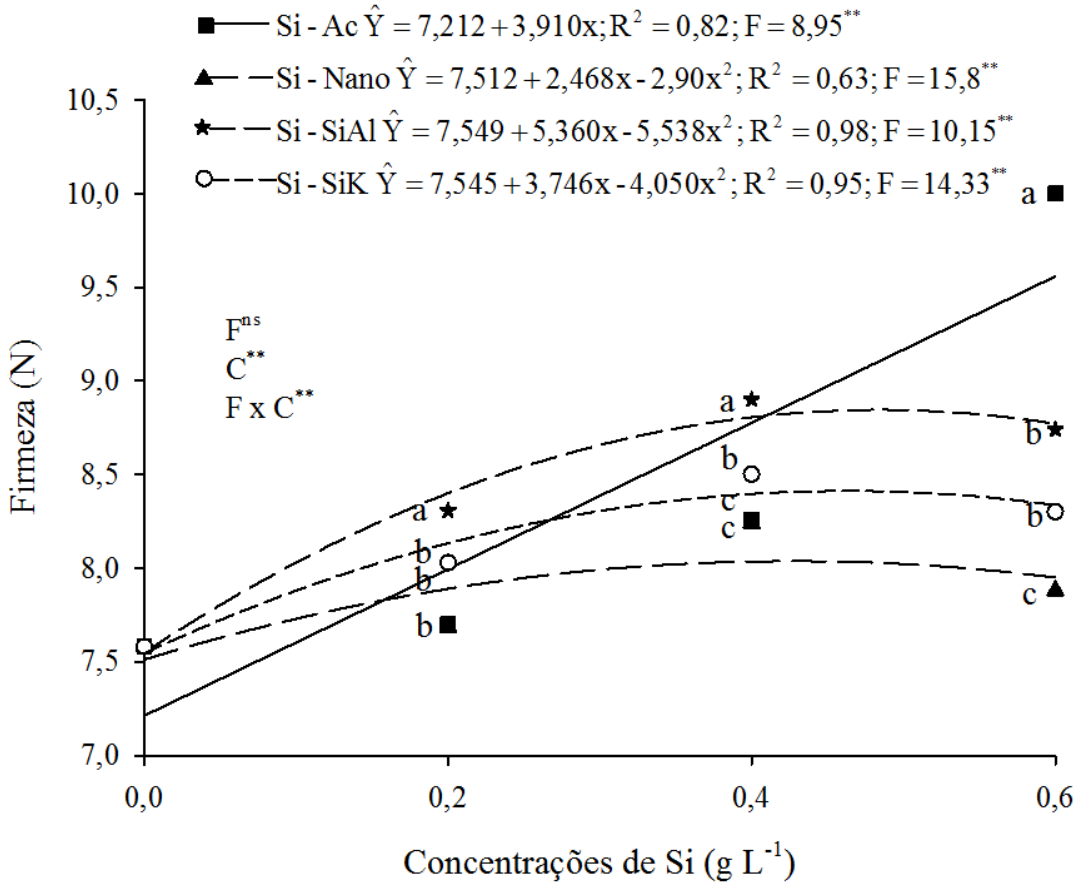


Figura 12. Firmeza (N) de tomates cultivar Micro-Tom, em função das concentrações (C) de silício nas fontes (F) silicato alcalino (Si-Al), silicato de potássio (Si-K), ácido silícico (Si-Ac), nanossílica (Si-Nano).** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Jaboticabal-SP, 2017.

Observou-se que a pulverização foliar na forma de Si-Ac, em relação às demais fontes, nas concentrações de 0,4 e 0,6 g L^{-1} de Si, proporcionou maior índice de firmeza nos frutos (Figura 12).

Marodin et al. (2016), com a aplicação de Si no solo, também observaram incremento no índice de firmeza do fruto de tomate. Essa maior firmeza do fruto deve-se à deposição de Si na parede celular (Almeida et al., 2009). O maior índice de firmeza dos frutos com a aplicação de Si-Ac, possivelmente, ocorreu devido essa fonte conter alta concentração de Si na forma de ácido monossilícico, ou seja, prontamente absorvida pelas plantas (H_4SiO_4), que proporcionou altos teores deste elemento no fruto (12,5 g kg^{-1}). Portanto, esta fonte pode ser uma alternativa viável para aumentar a absorção de Si pelas plantas e para ampliar seus efeitos benéficos (Soratto et al., 2012).

5 CONCLUSÃO

A pulverização com Si, a partir do florescimento do tomateiro, promove a biofortificação e a melhoria na qualidade tecnológica dos frutos (sólidos solúveis, ácido ascórbico, acidez titulável e firmeza) destacando-se as fontes novas de ácido silícico e nanossílica na concentração próxima de 0,4 g L^{-1} de Si.

REFERÊNCIAS

Ali A, Basra SMA, Iqbal J, Hussain S, Subhani MN, Sarwar M, Ahmed M (2012). Augmenting the salt tolerance in wheat (Triticum aestivum) through exogenously applied silicon. **Africa Journal Biotechnol**ogy 11:642–649.

Almeida GD, Pratissoli D, Zanuncio JC, Vicentini VB, Holtz AM, Serrão JE, (2009) Calcium silicate and organic mineral fertilizer increase the resistance of tomato plants to Frankliniella schultzei. **Phytoparasitica** 37:225-230.

Andrade PDS. (2017). SEAB–Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. DERAL-Departamento de Economia Rural. **Análise da Conjuntura Agropecuária** v.41.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International.** 16th ed. Washington: Ed. Patrícia Cunniff. 1997 v. 2, cap. 37. Método 942.15 e método 932.12.

Barbosa JC, Maldonado JW (2016). **AgroEstat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**, Versão 1.1.0.626. Jaboticabal-SP: FCAV/UNESP.

Beckles DM. (2012) Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology** 63:129-140.

Carlisle EM (1970) SILICON: a possible factor in bone calcification. **Science** 167:179-80.

Carlisle EM (1972) Silicon: an essential element for the chick. **Science** 178:619–621.

CNA, Confederação da Agricultura e Pecuária (2017). "**Mapeamento e Quantificação Da Cadeia Produtiva Das Hortaliças**" 79.

Crusciol CAC, Soratto RP, Castro GSA, Costa CHMD, Ferrari NJ (2013) Foliar application of stabilized silicic acid on soybean, common bean, and peanut. **Revista Ciência Agronômica** 44:404-410.

D'Imperio M, Montesano FF, Renna M, Leoni B, Buttaro D, Parente A, Serio F (2018) NaCl stress enhances silicon tissue enrichment of hydroponic "baby leaf" chicory under biofortification process. **Scientia Horticulturae** 235:258-263.

Dalastra C, Campos AR, Fernandes FM, Martins GLM, Campos, ZR (2011). Silício como indutor de resistência no controle do tripes do prateamento Enneothrips flavens Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoinzeiro. **Ciência e Agrotecnologia** 531-538.

D'Imperio M, Renna M, CardinalI A, Buttaro D, Santamaria P, Serio F (2016). Silicon biofortification of leafy vegetables and its bioaccessibility in the edible parts. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 96:751-756.

Epstein, E. (2009). Silicon: Its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology** 2:155–160.

FAO http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Brazil, 2016.

GIllette-Guyonnet, S., Andrieu, S., Nourhashemi, F., De La Guéronnieère, V., Grandjean, H., & Vellas, B. (2005). Cognitive impairment and composition of drinking water in women: findings of the EPIDOS Study–. **The American journal of clinical nutrition** 81:897-902.

Gong HJ, Randall DP, Flowers TJ (2006) Silicon deposition in the root reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by reducing bypass flow. **Plant Cell Environ** 29:1970-1979.

Haynes, R.J. Chapter Three (2017) - Significance and Role of Si in Crop Production. **Advances in Agronomy** 146:83-166.

Hoagland DR, Arnon DI (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular. **California Agricultural Experiment Station** 347 (2nd edit).

Iler RK (1979) The chemistry of silica: solubility, polymerization, colloid and surface properties and biochemistry of silica. New York: **Wiley-Interscience**.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. (2008). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**, São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008 p.1020.

Islam MZ, Mele MA, Kang HM (2018) Gaseous, Physicochemical and Microbial Performances of Silicon Foliar Spraying Techniques on Cherry Tomatoes. *AGRIVITA,* **Journal of Agricultural Science** 40:185-192.

Jugdaohsingh R, Tucker KL, Qiao N, CuppleS LA, Kiel DP, Powell JJ (2004) Dietary silicon intake is positively associated with bone mineral density in men and premenopausal women of the Framingham Offspring Cohort. **Journal Bone Miner Research** 19:297-307.

Kamp, L. Gebruik van **Siliciumzuur in de akkerbouw**. In Silicon Solutions—Helping Plants to Help Themselves; Bent, E., Ed.; Sestante: Bergamo, Italy, 2014; p.37.

Kaur C, Walia S, Nagal S, Walia S, Sing J, Singh BB, Saha S, Singh B, Kalia P, Jaggi S, Sarika. (2013) Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon L*) cultivars grown in Northern India LWT - , Amsterdam **Food Science and Technology** 50:139-145.

Kraska JE, Breitenbeck GA. (2010) Simple, robust method for quantifying silicon in plant tissue. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 41:2075-2085.

Laane HM (2018). Os efeitos de pulverizações foliares com diferentes compostos de silício. **Plants** 7:1-22.

Ludwig F, Behling A, Schmitz JAK (2015) Silício na Produção e Qualidade Fitossanitária do Tomate (Lycopersicum esculentum). **Scientia Agraria Paranaensis** 14:60-66.

Ma D, Sun D, Wang C, Qin H, Ding H, Li Y, Guo T (2016). Silicon application alleviates drought stress in wheat through transcriptional regulation of multiple antioxidant defense pathways. **Journal Plant Growth Regulation** 35:1–10.

Macdonald HM, Hardcastle AC, Jugdaohsingh R, Fraser WD, Reid DM, Powell JJ (2012) Dietary silicon interacts with oestrogen to influence bone health: evidence from the Aberdeen Prospective Osteoporosis Screening Study. **Bone** 50:681-687.

Makishima N, Miranda, JEC de (1995). **Cultivo do tomate.** Brasília: Embrapa-CNPH.

Marodin JC, Resende JT, Morales RG, Faria MV, Trevisam AR, Figueired AS, Dias DM (2016) Tomato post-harvest durability and physicochemical quality depending on silicon sources and doses. **Horticultura Brasileira** 34:361-366.

Marodin JC, Resende JTV, Morales RGF, Silva MLS, Galvão AG, Zanin, DS (2014) Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. **Horticultura Brasileira** 32:220-224.

Martí E, Gisbert C. Bishop GJ, Dixon MS, García-Martínez JL. (2006) Genetic and physiological characterization of tomato cv. Micro-Tom. **Journal of experimental botany** 57:2037-2047.

Meissner R, Jacobson Y, Melamed S, Levyatuv S, Shalev G, Ashri A, Elkind Y, Levy A (1997) A new model system for tomato genetics. **Plant Journal** Oxford, 12:1465-1472.

Melo NC, Souza LC, Silva VF, Gomes RF, Neto CFO, Costa LPC. (2014) Cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) hidropônico sob diferentes níveis de fósforo e potássio em solução nutritiva. **Agroecossistemas** 6:10-16.

Menegale MDC, Castro GSA, Mancuso M (2015) Silício: interação com o sistema solo-planta**. Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado** (ALICE).

Menezes KRP, Santos GCDS, Oliveira OMD, Sanches AG, Cordeiro CAM, Oliveira ARGD (2018) Influência do revestimento comestível na preservação da qualidade pós-colheita de tomate de mesa. In **Colloquium Agrariae** 13:14-28.

Montesano FF, D'Imperio M, Parente A, Cardinali A, Renna M, Serio F (2016) Green bean biofortification for Si through soilless cultivation: plant response and Si bioaccessibility in pods. **Scientific reports** 6:1-9.

Moura-Andrade GCR, Oetterer M, Tornisielo VL (2010) O tomate como alimento cadeia produtiva e resíduos de agrotóxicos. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente** 20:57-66.

Murgia I, DE Gara L, Grusak MA (2013) Biofortification: How can we exploit plant science and biotechnology to reduce micronutrient deficiencies. **Frontier in Plant Science** 4:429.

Nielsen FH, Poellot R (2004). O silício dietético afeta a remodelação óssea de maneira diferente em ratas em crescimento ovariectomizadas e operadas por sham. **Jornal de Oligoelementos em Medicina Experimental** 17:137-149.

Nielsen FH. (2014) Update on the possible nutritional importance of silicon. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology** 28:379-382.

Pereira HS, Vitti GC, Korndorfer GH (2003) Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência de Solo** 27:111-117.

Perry CC, Belton D, Shafran K (2003) Studies of biosilicas; structural aspects, chemical principles, model studies and the future. **Progress in Molecular and Subcellular Biology** 33: 269– 299.

Price CT, Langford JR, Liporace FA (2012) Essential nutrients for bone health and a review of their availability in the average North American diet. **The open Orthopaedics Journal** 6:143-149.

Rao AV, Shen H. (2002).Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress. **Nutrition Research** 22:1125-1131.

Rodrigues CR, Rodrigues TM, Luz JMQ, De Sousa VBF, Sousa, JB, Nunes ACP, Trindade PR (2016) Clorofila a e b de tomateiro tratado com silicato de potássio e fungicida. **Global Science and Technology** v.9:54-64.

Rosset E, Colella JC, Junior JRADN, Vieira SA. (2018) Efeitos de fertilizante organomineral na produção de tomate (*Lycopersicon esculentum*). **Revista Uningá Review** 25:12-17.

Salvador CA. (2017) “DERAL - Departamento de Economia Rural Olericultura - Análise Da Conjuntura Agropecuária Área, Produção e VBP Área Que Movimentou DERAL - Departamento de Economia Rural,” no. 41

Santos MC, Junqueira AMR, De Sá VGM, Zanúncio JC, Bauch MA, Serrão JE (2012) Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de Tuta absoluta (Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável** 2:76-88.

Silva ON, Lobato AKS, Avila FW, Costa RCL, Oliveira Neto CF, Santos Filho BG, Cardoso MS (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.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **A biofortificação em debate**. v.42, p.900, 2016.

Soratto RP, Crusciol CAC, Castro GSA, Costa CHMD, Ferrari Neto J (2012) Leaf application of silicic acid to white oat and wheat. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:1538-1544.

Soratto RP, Fernandes AN, Crusciol CAC, DE Souza-Schlick GD **(**2012) Yield, tuber quality, and disease incidence on potato crop as affected by silicon leaf application. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 47:1000–1006.

Viebig RF, Pastor-Valero M, Scazufca M, Menezes PR (2009) Consumo de frutas e hortaliças por idosos de baixa renda na cidade de São Paulo. **Revista de Saúde Pública** 43:806-813.

Welch, RM (2018). Micronutrientes, agricultura e nutrição; ligações para melhorar a saúde e o bem-estar. Perspectivas sobre a nutrição de micronutrientes das culturas. **Scientific Publishers** 247-289.

Wenzel APBH, Formiga LMF, Rodrigues EAO, De Carvalho VP, Feitosa LMH, Rodrigues AF (2018). Conhecimento dos idosos a respeito da osteoporose. **Revista Interdisciplinar** 11:78-86.

Yassen A, Abdallah E, Gaballah M. Zaghloul S (2017) Role of Silicon dioxide nano fertilizer in mitigating salt stress on growth, yield and chemical composition of Cucumber (*Cucumis sativus* L.). **International Journal of Agricultural Research** 12:130–135.

Zhang C, Moutinho-Pereira JM, Correia C, Coutinho J, Gonçalves A, Guedes A, Gomes-Laranjo J (2013) Foliar application of Sili-K® increases chestnut (*Castanea* spp.) growth and photosynthesis, simultaneously increasing susceptibility to water deficit. **Plant and soil** 365:211-225.