



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MYRIAM GALVÃO NEVES**

**METABOLISMO BIOQUÍMICO, PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO PÓS-  
COLHEITA EM PLANTAS DE ALFACE SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DE  
SILICATO DE CÁLCIO FOLIAR**

**BELÉM**

**2020**

**MYRIAM GALVÃO NEVES**

**METABOLISMO BIOQUÍMICO, PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO PÓS-  
COLHEITA EM PLANTAS DE ALFACE SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DE  
SILICATO DE CÁLCIO FOLIAR**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da  
Amazônia, como parte das exigências do curso de  
Pós-Graduação em Agronomia para obtenção do  
título de Doutora.

Área de Concentração: Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior.

**BELÉM**

**2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

G182m Galvão Neves, Myriam  
METABOLISMO BIOQUÍMICO, PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO PÓS-COLHEITA EM PLANTAS DE  
ALFACE SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO FOLIAR / Myriam Galvão Neves. -  
2020.

57 f. : il. color.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de  
Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior

1. Lactuca sativa L; elemento benéfico; nutrição mineral. I. Lopes da Silva Júnior, Mário , *orient.* II.  
Título

---

CDD 635.52

**MYRIAM GALVÃO NEVES**

**METABOLISMO BIOQUÍMICO, PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO PÓS-  
COLHEITA EM PLANTAS DE ALFACE SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DE  
SILICATO DE CÁLCIO FOLIAR**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia para obtenção do título de Doutora.

Área de concentração: Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior

**Banca examinadora**

*Mário Lopes da Silva Júnior*

---

Dr. Mário Lopes da Silva Júnior - Orientador  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**

*[Assinatura]*

---

Dr. Eduardo César Medeiros Saldanha - 1º Examinador  
**ESPECIALISTA AGRÔNOMO – YARA FERTILIZANTES**

*Hellen Siglia Demétrio Barros.*

---

Dra. Hellen Siglia Demétrio Barros – 2ª Examinadora  
**ENGENHEIRA AGRÔNOMA – ITERPA**

*Gerson Diego P. Albuquerque*

---

Dr. Gerson Diego Pamplona Albuquerque - 3º Examinador  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA**

*[Assinatura]*

---

Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto - 4º Examinador  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**

“A Deus,

Aos meus grandes incentivadores: Pai (*in memoriam*), Mãe, Irmãos, Irmãs e meu filho Murilo que muito contribuíram para que esta jornada se concretizasse.”

## **DEDICO**

Aos meus pais, por serem modelo de coragem, pelo apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência demonstrados e total ajuda na superação dos obstáculos que ao longo desta caminhada foram surgindo.

## **OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por toda sabedoria e benção a mim concedidas.

Aos meus pais Simão de Sousa Neves Filho (*in memoriam*) e Maria Raimunda Galvão Neves, por todo apoio, amor e confiança em mim depositada.

Ao capítulo mais lindo da minha tese que é o meu filho Murilo.

Aos meus irmãos, irmãs e familiares por todo respeito, carinho e confiança.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior pela dedicação, ensinamentos e confiança em meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto pelo apoio na condução do experimento e análises laboratoriais.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do presente curso.

A todos os professores do Doutorado que de alguma forma contribuíram na minha formação.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos durante o curso.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa EBPS (Estudo da Biodiversidade de Plantas Superiores) pelo incentivo, ajuda e amizade, em especial ao Gerson Diego Pamplona Albuquerque pela ajuda na tabulação dos dados. Sou grata por todos os momentos de convivência e por terem me apoiado para que conseguisse alcançar este objetivo.

Ao Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura e aos alunos Tiago, Chayanne, Hermogenes, Nayra, Gabriel e Beatriz que me ajudaram na condução do experimento.

Aos colegas do Doutorado, que acompanharam e participaram sempre confiantes durante toda essa caminhada.

À todas as pessoas que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

**Muito obrigada!**

## RESUMO

A alface é considerada a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, no entanto, alguns entraves precisam ser superados nessa cadeia produtiva, como sua curta vida de prateleira, devido apresentar alto teor de água em sua composição, favorecendo sua deterioração e má qualidade. Contudo, estudos demonstram resultados positivos na utilização da adubação silicatada em várias culturas agrícolas, pois, quando acumulado na cutícula das folhas, promove redução na perda de massa. Da mesma maneira, o Si pode também atuar no metabolismo do carbono e nitrogênio. Diante disso, o objetivo do estudo foi determinar os efeitos de doses e duas fontes de silício, via foliar, no crescimento, produção, conservação pós-colheita e metabolismo bioquímico em plantas de alface crespa em casa de vegetação em duas épocas de aplicação. Foram feitos quatro experimentos, sendo que no Experimento I, seguiu um esquema fatorial 2x5, com as fontes silicato de cálcio e metassilicato de sódio e cinco doses de Si: 0, 2, 4, 6, 8 mg L<sup>-1</sup> Si, com seis repetições, sendo as plantas de alface cultivadas em vasos preenchidos com substrato. No experimento II foram retiradas três plantas de alface e levadas à geladeira, sendo feita pesagens nos intervalos de cinco e 10 dias para a avaliação pós-colheita e que foram submetidas as mesmas condições do experimento I. O experimento III foi em blocos casualizados, fatorial 5x2, com quatro repetições, totalizando 10 tratamentos, (5 doses de Silicato de cálcio: 0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup> e duas épocas de aplicação: 20 e 27 DAT). O IV experimento foi em parcelas sub subdivididas, com 5 doses de Silicato de cálcio (0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup>), duas épocas de aplicação foliar (20 e 27 DAT), com quatro intervalos de pesagem (5, 10, 15 e 20 dias após a colheita) e três repetições. As alfices foram cultivadas em vasos de Leonard, preenchidos com areia, recebendo solução nutritiva. Conclui-se que no experimento I e II nas concentrações testadas há efeito benéfico do silício na forma de silicato de cálcio, com incrementos no número de folhas, massa fresca e seca do caule, massa fresca e seca das folhas, massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca das raízes, redução no comprimento da raiz e na perda de massa durante o período de conservação pós-colheita e não se recomenda a utilização do metassilicato de sódio via aplicação foliar em plantas de alface. Nos experimentos III e IV, a aplicação foliar de Silicato de cálcio influenciou as variáveis de crescimento: aumento de 18% na dose 4 mg L<sup>-1</sup> para da altura das plantas, redução no comprimento e massa fresca de raiz e, nas variáveis bioquímicas houve redução no teor de amônio e variações no teor de nitrato. A maior perda de massa ocorreu aos 27 DAT na dose 2 mg L<sup>-1</sup> em relação aos 20 DAT.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L., elemento benéfico, tempo de prateleira, horticultura, nutrição mineral.

## ABSTRACT

Lettuce is considered the most consumed leafy vegetable in Brazil, however, some obstacles need to be overcome in this production chain, such as its short shelf life, due to its high water content in its composition, favoring its deterioration and poor quality. However, studies have shown positive results in the use of silicate fertilizer in various agricultural crops, because, when accumulated in the cuticle of the leaves, it promotes a reduction in mass loss. In the same way, Si can also act on the metabolism of carbon and nitrogen. Therefore, the objective of the study was to determine the effects of doses and two sources of silicon, via leaf, on growth, production, post-harvest conservation and biochemical metabolism in curly lettuce plants in a greenhouse in two application times. Four experiments were carried out, and in Experiment I, a 2x5 factorial scheme was followed, with the sources of calcium silicate and sodium metasilicate and five doses of silicon: 0, 2, 4, 6, 8 mg L<sup>-1</sup> Si, with six repetitions, lettuce plants being grown in pots filled with substrate. In experiment II, three lettuce plants were removed and taken to the refrigerator, weighing at intervals of five and 10 days for post-harvest evaluation and the same conditions as in experiment I were submitted. Experiment III was in randomized blocks, factorial 5x2, with four repetitions, totaling 10 treatments, (5 doses of Si: 0; 2; 4; 6 and 8 mg L<sup>-1</sup> and two application times: 20 and 27 DAT). The IV experiment was in subdivided plots, with 5 doses of Si (0; 2; 4; 6 and 8 mg L<sup>-1</sup>), two times of foliar application (20 and 27 DAT), with four weighing intervals (5, 10, 15 and 20 days after harvest) and three replications. Lettuces were grown in Leonard pots, filled with sand, receiving nutrient solution. It is concluded that in experiment I and II in the tested concentrations there is a beneficial effect of silicon in the form of calcium silicate, with increments in the number of leaves, fresh and dry mass of the stem, fresh and dry mass of the leaves, fresh and dry mass of the aerial part, fresh and dry root mass, reduction in root length and weight loss during the post-harvest conservation period and the use of sodium metasilicate via foliar application on lettuce plants is not recommended. In experiments III and IV, the foliar application of Si influenced the growth variables: an increase of 18% in the dose 4 mg L<sup>-1</sup> for plant height, reduction in length and fresh root mass, and in the biochemical variables there was a reduction in ammonium content and variations in nitrate content. The greatest loss of mass occurred at 27 DAT at a dose of 2 mg L<sup>-1</sup> compared to 20 DAT.

**Key words:** *Lactuca sativa* L., beneficial element, shelf time, horticulture, mineral nutrition.

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1.</b> Atributos de fertilidade e granulometria do solo.....  | 24 |
| <b>Tabela 2.</b> Perda de massa de plantas de alface pós-colheita em função da aplicação foliar com diferentes concentrações de silicato de cálcio ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ mg L <sup>-1</sup> ) ..... | 32 |
| <b>Tabela 1.</b> Resumo da análise de variância com a significância do teste F para as características agronômicas avaliadas.....   | 46 |
| <b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância com a significância do teste F para as características agronômicas avaliadas .....  | 47 |
| <b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância com a significância do teste F para as características bioquímicas avaliadas.....   | 48 |
| <b>Tabela 4.</b> Efeito da pulverização foliar de silício em duas épocas de aplicação (20 e 27 DAT) no comprimento da raiz, matéria fresca da raiz, proteína em plantas de alface. Belém (PA), 2019.....  | 49 |
| <b>Tabela 5.</b> Efeito da pulverização foliar de silício em duas épocas de aplicação (20 e 27 DAT) na altura da planta, amônio e nitrato em plantas de alface. Belém (PA), 2019 .....                    | 50 |
| <b>Tabela 6.</b> Resumo da análise de variância com a significância do teste F referente à perda de massa por planta.....   | 51 |
| <b>Tabela 7.</b> Efeito da pulverização foliar na perda de massa por planta (%) em alface.....  | 51 |
| <b>Tabela 8.</b> Efeito da pulverização foliar de silício em duas épocas de aplicação (20 e 27 DAT) no conteúdo de água.....  | 52 |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> - Aplicação foliar de silicato de cálcio em plantas de alface.....  | 25 |
| <b>Figura 2</b> - Comprimento da raiz de plantas de alface que foram submetidas ao tratamento com silicato de cálcio via foliar (0; 2; 4; 6; 8 mg L <sup>-1</sup> ) .....   | 26 |
| <b>Figura 3</b> - Plantas de alface que foram submetidas ao tratamento com metassilicato de sódio e apresentaram sinais de toxidez (A), plantas de alface que foram submetidas ao tratamento com silicato de cálcio (B) aos 20 DAT .....  | 27 |
| <b>Figura 4</b> - Plantas de alface que foram submetidas ao tratamento com silicato de cálcio (0; 2; 4; 6; 8 mg L <sup>-1</sup> ) .....   | 27 |
| <b>Figura 5</b> - Comprimento da raiz (A), número de folhas (B), massa fresca do caule (C), massa seca do caule (D), massa fresca das folhas (E), massa seca das folhas (F) da cultivar SVR 06511236 de plantas de alface submetidas a concentrações de silício de 0 a 8 mg L <sup>-1</sup> via aplicação foliar. Parauapebas, PA, 2018 ..... | 29 |
| <b>Figura 6</b> - Massa fresca da parte aérea (A), massa seca da parte aérea (B), massa fresca da raiz (C), massa seca da raiz (D) da cultivar SVR 06511236 de plantas de alface submetidas a concentrações de silício de 0 a 8 mgL <sup>-1</sup> via aplicação foliar. Parauapebas, PA, 2018 .....   | 31 |
| <b>Figura 1</b> – Localização do experimento .....  | 42 |
| <b>Figura 2</b> - Pesagem das alfaces .....   | 45 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

DAT – Dias Após o Transplântio

N-P-K - Nitrogênio, Fósforo-Potássio

MO - Matéria Orgânica

CR - Comprimento da Raiz

NF - Número de Folhas

AP - Altura da Planta

MFC - Massa Fresca de Caule

MFF - Massa Fresca de Folhas

MFPA - Massa Fresca da Parte Aérea

MFR - Massa Fresca da Raiz

ICA - Instituto de Ciências Agrárias (ICA)

RN - Redutase do Nitrato

NS – Não significativo

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2. CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO PÓS-COLHEITA EM PLANTAS DE ALFACE SUBMETIDAS A CONCENTRAÇÕES DE SILICATO DE CÁLCIO FOLIAR.....</b>  | <b>19</b> |
| <b>Resumo .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>Abstract .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>2.1. Introdução.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.2. Material e métodos.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>2.3. Resultados e discussão.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>2.4. Conclusão.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>2.5. Referências.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>3. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, CRESCIMENTO E AVALIAÇÃO PÓS-COLHEITA EM PLANTAS DE ALFACE SUBMETIDAS A PULVERIZAÇÃO FOLIAR DE SILICATO DE CÁLCIO EM DUAS ÉPOCAS.....</b> | <b>37</b> |
| <b>Resumo.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>38</b> |
| <b>3.1. Introdução.....</b>   | <b>39</b> |
| <b>3.2. Material e métodos.....</b>   | <b>42</b> |
| 3.2.1 Localização do experimento.....   | 42        |
| 3.2.2 Delineamento experimental e descrição dos experimentos.....   | 42        |
| 3.2.3 Condução do experimento.....  | 42        |
| 3.2.4 Pulverização foliar de Si.....  | 43        |
| 3.2.5 Variáveis biométricas e bioquímicas analisadas.....   | 44        |
| 3.2.6 Avaliação pós-colheita.....   | 44        |
| 3.2.7 Análise estatística.....  | 45        |
| <b>3.3. Resultados e discussão.....</b>   | <b>45</b> |
| <b>3.4. Conclusão.....</b>  | <b>52</b> |
| <b>3.5. Referências.....</b>  | <b>52</b> |
| <b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>   | <b>57</b> |

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertencente à família Asteraceae, é originária da região do Mediterrâneo, sendo cultivada há bastante tempo no mundo inteiro para consumo tanto em saladas como ingrediente de sanduíches (FAVARATO et al., 2017). É uma cultura amplamente cultivada por vários tipos de horticultores, graças a sua facilidade de cultivo e precocidade de ciclo após o transplântio (SALA; COSTA, 2012).

Segundo dados do IBGE (2017), o número de estabelecimentos que produzem a alface no Brasil é de 108.603 unidades, que produzem um total de 908.186 toneladas por ano. Desse modo, destaca-se como a hortaliça folhosa de maior importância econômica e social no Brasil, sendo consumida *in natura*, preservando assim suas propriedades nutricionais, como a vitamina A e sais minerais (FREITAS et al., 2013). Embora tenha essa importância tanto comercial como para consumo, a alface é um produto altamente perecível durante a vida pós-colheita, devido ser constituída em grande parte por água, ou seja, a partir do momento em que a alface é colhida inicia o processo de deterioração, limitando seu cultivo próximo aos centros consumidores, os chamados “cinturões verdes” das grandes cidades, tornando-se um dos entraves que mais limitam a cadeia produtiva dessa hortaliça (AZEVEDO et al., 2015).

Diversas formulações alternativas vêm sendo estudadas e testadas, destacando-se a adubação silicatada, demonstrando potencial na redução de doenças e anomalias fisiológicas, desta forma, tem sido utilizada com o objetivo de aumentar a produção, mantendo a integridade das células (GALATI et al., 2015). O Si após ser absorvido pelas raízes, atua no mecanismo da transpiração, acumulando-se nos órgãos graças a uma camada dupla de sílica cuticular, minimizando a perda de água durante o período pós-colheita (FARIA, 2000). O Si também atua na parte estrutural, na síntese de hemicelulose e lignina presentes nas paredes celulares, deixando as células mais rígidas e, conseqüentemente, aumentam a firmeza das folhas de alface (KORNDORFER et al., 2004; BARBOSA FILHO et al., 2001).

O Si é absorvido pela via radicular ou foliar pelas plantas na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), sendo esta a principal fonte disponível para as plantas no solo (EPSTEIN, 2006). O processo de absorção ocorre após o contato do elemento com a epiderme superior, inferior ou em ambas, em seguida, o Si atravessa a cutícula e as paredes epidérmicas pelo processo de difusão, alcançando o plasmalema e o movimento através da membrana citoplasmática com a entrada no citoplasma, eventualmente no

vacúolo, depois de atravessar o tonoplasto (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ et al., 2017).

Segundo Marschner (1995), as plantas são classificadas em três grupos de acordo com sua capacidade de absorver e acumular silício nos tecidos: acumuladoras, com teor elevado de silício, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica; arroz e a cana-de-açúcar são exemplos desse grupo; b) não acumuladoras, com baixo teor de Si, mesmo com altos níveis no meio, indicando um mecanismo de exclusão: a maioria das dicotiledôneas, a qual a alface pertence; c) intermediárias, com quantidade considerável de Si, quando a concentração no meio é alta

O Si é considerado o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, atrás apenas do oxigênio, embora a sua quantidade expressiva e sua relação com aumento da produção de algumas culturas, o Si não é considerado como nutriente às plantas, pelo fato de não atender o critério de essencialidade e sim um elemento benéfico que incrementa o crescimento da planta em condições de estresse bióticos bióticos (pragas e doenças) e abióticos (seca, metais pesados, salinidade) que, geralmente, ocorrem durante o desenvolvimento das plantas, exemplo disso são plantas submetidas à condições de alta temperatura, pois a deposição do silício na parede celular das folhas forma uma dupla camada de sílica, evitando perdas de água por evapotranspiração da planta (Korndörfer et al., 2004; Marschner, 1995).

O seu teor médio no solo varia de 25% a 35%, porém, em solos nos quais o processo de intemperismo é muito forte, como em Latossolos, ele pode ser inferior a 1% (LIANG et al., 2015). Embora seja abundante na crosta terrestre, sua disponibilidade no solo é muito baixa, em solos tropicais e subtropicais, por exemplo, os teores desse elemento disponíveis são considerados baixos devido ao processo de lixiviação, intemperismo e ao cultivo intensivo, que extraem o elemento do solo, totalizando uma perda anual no mundo de 210 a 224 milhões de toneladas do Si (MEENA et al., 2014).

Para atender às necessidades de Si pelas plantas, existem várias fontes do elemento, como o silicato de potássio, silicato de sódio, ácido monossilícico, silicato de cálcio, silicato de magnésio e o metassilicato de sódio (CURRIE; PERRY, 2007). A importância da adubação silicatada vem sendo confirmada em alguns trabalhos com hortaliças, tais como rabanete, rúcula, tomate, porém, ainda há carência de maiores informações sobre o efeito desse elemento e a dosagem ideal capaz de aumentar a produtividade e conservação pós-colheita da alface. Neves et al. (2020) avaliando o silício no crescimento e desenvolvimento de plantas de alface em cultivo fora do solo

observaram que houve incrementos nas variáveis de crescimento; Feba et al. (2017) observaram que o silício promoveu melhor conservação pós-colheita de alface, prolongando por dois dias a sua vida útil.

Estudos também comprovaram que muitas culturas apresentaram maiores produtividades quando submetidas à adubação silicatada, como o estudo feito por Zanão Júnior et al. (2013), que descreveram um aumento na produção e na melhora da qualidade de rosas. Dantas Júnior et al. (2013) observaram maiores índices de produtividade na cultura do milho.

A época de aplicação de Si também é fator importante, pois está relacionada ao tipo de cultura, como observado em diferentes trabalhos e diversas culturas agrícolas. A pulverização foliar via fertirrigação ou em composição de solução nutritiva em hidroponia tem sido recomendada, no caso de hortaliças folhosas como a alface que é uma cultura de ciclo curto, deve ser levado em consideração o ciclo da cultura para que seja feita a escolha da época de aplicação (RESENDE; YURI, 2017).

Na fisiologia da planta tem se observado que este elemento mineral possui relação direta com o aumento da fotossíntese líquida e proteção da destruição da clorofila, principalmente em condições de altas temperaturas e baixa umidade aumentando assim a área foliar exposta a luz solar, na modulação da taxa de transpiração, no balanço da absorção mineral e na regulação da absorção de água pela raiz. Bioquímica e molecularmente o silício atua desencadeando a transcrição de genes relacionados à defesa antioxidante, ao ajustamento osmótico, à fotossíntese, à lignificação e ao metabolismo de suberina (CRUSCIOL et al., 2009; SAHEBI et al., 2015; ZHU; GONG, 2014).

O fornecimento de silício (Si) na adubação pode contribuir para a melhoria do funcionamento do metabolismo do nitrogênio através do aumento da atividade de enzimas: redutase do nitrato; glutamina sintetase; glutamato sintetase; e glutamato desidrogenase e aumento no teor de clorofila (VATEHOVÁ et al., 2012; BYBORDI, 2012; FENG et al., 2010). Em estudo sobre a relação nitrato e amônio, com aplicação de Si (2 e 4 mmol L<sup>-1</sup>), em plantas de canola sob condições salinas, Bybordi (2010) observou uma relação benéfica do Si com o amônio. Nesse estudo, com o aumento da concentração de amônio na presença desse elemento, houve incremento na produção de matéria fresca e na área foliar, evidenciando o efeito benéfico do Si em altas concentrações de amônio.

Contudo, pouco se conhece também sobre a ação do silício no metabolismo bioquímico de plantas de alface, sendo necessária uma melhor compreensão da ação desse elemento nos teores de proteína, nitrato, redutase do nitrato, clorofila, amônio livre e nas

variáveis de crescimento. A falta de maiores informações conclusivas sobre este elemento benéfico em hortaliças justifica o presente trabalho.

Diante disso, a hipótese geral do trabalho é a de que a aplicação de silício via foliar aumenta o crescimento vegetativo das plantas de alface e prolonga a conservação pós-colheita, atua no metabolismo fisiológico do carbono e do nitrogênio e quando aplicado no início do desenvolvimento da alface promove menor perda de massa pela planta após a colheita. O objetivo geral deste estudo foi determinar os efeitos de doses de silicato de cálcio e metassilicato de sódio via foliar em plantas de alface crespa no crescimento, produção, conservação pós-colheita e metabolismo bioquímico em casa de vegetação em duas épocas de aplicação.

## REFERÊNCIAS

- ANTONIALI, S.; SANCHES, J.; NACHILUK, K. Mais alimentos ou menos perdas? Disponível em: Acesso em 21 de dezembro de 2018.
- AZEVEDO, A. M. et al. Agrupamento multivariado de curvas na seleção de cultivares de alface quanto à conservação pós-colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 362-367, 2015.
- BARBOSA FILHO, M.P, de. et al. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 325-330, jun. 2001.
- BYBORDI, A. Effect of ascorbic acid and silicium on photosynthesis, antioxidante enzyme activity, and fatty acid contents in canola exposure to salt stress. **Journal of Integrative Agriculture**, Beijing, v. 11, n. 10, p. 1610-1620, 2012.
- BYBORDI, A. Influence of  $\text{NO}_3^-$ :  $\text{NH}_4^+$  ratios and silicon on growth, nitrate reductase activity and fatty acid composition of canola under saline conditions. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 5, n. 15, p. 1984 -1992, 2010.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Effects of Silicon and Drought Stress on Tuber Yield and Leaf Biochemical Characteristics in Potato. **Crop Science**, v. 49, n. 3, p. 949-954, 2009.
- CURRIE, H. A.; PERRY, C. C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v. 100, n. 7, p. 1383-1389, 2007.
- DANTAS JÚNIOR, E. E.; CHAVES, L.H.G.; COSTA, F.A.M. Silicate fertilizer and irrigation depth in corn production. **Revista Ceres**, v. 60, p. 563-568, 2013.
- EPSTEIN; BLOOM, A. Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas. Londrina, BR: **Planta**, p.403, 2006.

FARIA, R. Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo. 2000. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras. Viçosa, 2000.

FAVARATO, L.F.; GUARÇONI, R.C.; SIQUEIRA, A.P. Produção de alface de primavera/verão sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Científica Intelletto**, v. 2, p. 16-28. 2017.

FEBA, L. T. et al. Silício promove melhor conservação pós-colheita da alface. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. Especial, Jul–Dez, p. 189-195, 2017.

FENG, J. et al. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 123, n. 4, p. 521- 530, 2010.

FREITAS, G.A. de. et al. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 159-166, 2013.

GALATI, V. C. et al. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana “Lucy Brown” minimamente processada. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p. 1932-1938, 2015.

IBGE, SENSO AGROPECUÁRIO 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-agropecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=resultados/Acesso> em:07/05/2019.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H.S.P.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta fertilizante**. Uberlândia, BR: GPSi-ICIAG-UFU. 50 p. 2004.

LIANG, Y. et al. Silicon and Plant-Pathogen Interactions. In: **Silicon in agriculture: From Theory To Practice**: Springer Dordrecht, 2015. p. 181-196.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MEENA, V. D. et al. Case for Silicon Fertilization to Improve Crop Yields in Tropical Soils. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of India - Section B - **Biological sciences**, Allahabad, v. 84, p. 505-518, 2014.

NEVES, M. G. et al. Silicon on growth and development of lettuce lettuce plants. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 1, p. 2330-2337, 2020.

RESENDE, G. M. de.; YURI, J. E. **Silício: a ferramenta contra doença nas hortaliças**. Boletim Técnico – Campo & Negócios, v. 12, n. 146, p. 56-58, 2017.

SAHEBI, M. et al. Importance of Silicon and Mechanisms of Biosilica Formation in Plants. **BioMed Research International**, v. 21, p.1-16, 2015.

SALA, F.C.; COSTA, C.P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 187-194, 2012.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**, 2017. 6.ed. p.888.

VATEHOVÁ, Z. et al. Interaction of silicon and cadmium in *Brassica juncea* and *Brassica napus*. **Biologia**, v. 67, n.3, p. 498-504, 2012.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Produção de rosas influenciada pela aplicação de doses de silício no substrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 6, p. 1611-1619, 2013.

ZHU, Y.; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 455-472, 2014.

## 2. CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO PÓS-COLHEITA EM PLANTAS DE ALFACE SUBMETIDAS A CONCENTRAÇÕES DE SILICATO DE CÁLCIO FOLIAR

Myriam Galvão Neves<sup>1</sup>; Mário Lopes da Silva Júnior<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia- Instituto de Ciências Agrárias, Avenida Presidente Tancredo Neves, n° 2501, Belém, PA, Brasil, CEP 66077-830; agronomyriam@hotmail.com; mario.silva\_junior@yahoo.com.br.

### Resumo

A alface é considerada a hortaliça folhosa mais produzida e consumida, porém, apresenta vida pós-colheita curta, gerando assim muitas perdas e prejuízos ao produtor e ao consumidor. Estudos têm comprovado o efeito benéfico do silício em frutas e hortaliças. Nesse sentido, o objetivo foi avaliar a influência da aplicação foliar de silicato de cálcio e metassilicato de sódio no crescimento, produção de biomassa e conservação pós-colheita de alface crespa. Os experimentos foram desenvolvidos em casa de vegetação na Universidade Federal Rural da Amazônia, campus de Parauapebas/PA, onde no primeiro experimento, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, fatorial 2x5, com duas fontes de Si (Silicato de cálcio e metassilicato de sódio), cinco concentrações de Si (0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup>) e seis repetições. No experimento II foram retiradas três plantas de alface e levadas à geladeira, sendo feita pesagens nos intervalos de cinco e 10 dias para a avaliação pós-colheita. As plantas foram conduzidas em vasos plásticos com capacidade para 3 dm<sup>3</sup>, contendo solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo. As concentrações de Si foram aplicadas via foliar, aos 20 dias após o transplântio (DAT). O silício, na forma de silicato de cálcio favoreceu o crescimento e desenvolvimento das plantas de alface e reduziu também a perda de massa pós-colheita, ao contrário da fonte metassilicato de sódio que apresentou sinais de toxidez, com folhas necrosadas. Concluiu-se que nas concentrações testadas há efeito benéfico do silício na forma de silicato de cálcio via aplicação foliar em plantas de alface.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L., elemento benéfico, hortaliça, nutrição mineral de plantas, análise de crescimento.

## 2. GROWTH, PRODUCTION AND POST-HARVEST EVALUATION IN LETTUCE PLANTS SUBMITTED TO CALCIUM SILICATE LEAF CONCENTRATIONS

### Abstract

Lettuce is considered the most produced and consumed leafy vegetable, however, it has a short post-harvest life, thus generating many losses and losses for the producer and the consumer. Studies have proven the beneficial effect of silicon on fruits and vegetables. Therefore, the objective was to evaluate the influence of foliar application of calcium silicate on growth, biomass production and postharvest conservation of curly lettuce. The experiment was carried out in a greenhouse at the Federal Rural University of the Amazon, campus of Parauapebas / PA. Two experiments were carried out, where in the first experiment, a completely randomized, 2x5 factorial design was used, with two sources of Si (calcium silicate and sodium metasilicate), five concentrations of Si (0; 2; 4; 6 and 8 mg L<sup>-1</sup>) and six repetitions. In experiment II, three lettuce plants were removed and taken to the refrigerator, weighing at intervals of five and 10 days for post-harvest evaluation. The plants were conducted in plastic pots with a capacity of 3 dm<sup>3</sup>, containing soil classified as Red-Yellow Argisol. Si concentrations were applied via leaf, 20 days after transplantation (DAT). Silicon, in the form of calcium silicate, favored the growth and development of lettuce plants and also reduced post-harvest mass loss, unlike the sodium metasilicate source which showed signs of toxicity, with necrotic leaves. It was concluded that in the tested concentrations there is a beneficial effect of silicon in the form of calcium silicate via foliar application in lettuce plants.

**Key words:** *Lactuca sativa* L., beneficial element, vegetable, mineral nutrition of plants, growth analysis.

## 2.1. Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa, pertence à família Asteraceae e é a mais difundida no mundo, com uma expressiva importância econômica e social em. Rica em fibra, ferro, folato, ácido ascórbico e outros compostos bioativos e é pobre em calorias, gordura e sódio, o que a torna a mais consumida entre as folhosas (VALERIANO et al., 2016; KIM et al., 2016). No Brasil, 108.603 unidades produzem um total de 908.186 toneladas de alface por ano (IBGE, 2017).

De acordo com Azevedo et al. (2015), um dos fatores limitantes na cadeia produtiva da alface está relacionado à comercialização que diz respeito à sua perda de qualidade, que consequentemente afeta sua comercialização e por ser um produto de alta perecibilidade, deteriora-se muito rápido. Esta perda é verificada pela aparência, qualidade sensorial, valor nutricional e microbiológico, levando a uma redução de sua vida de prateleira. Fatores como a temperatura, a umidade e o período de armazenamento na pós-colheita interferem na taxa de respiração da alface. Para as hortaliças folhosas, a manutenção da cor verde e a redução da perda de massa são fundamentais para conservar a boa qualidade na pós-colheita.

Dentre as várias alternativas que vêm sendo testadas para minimizar a perda de massa e água pelas culturas, principalmente folhosas, está a adubação silicatada, devido a alface está entre as hortaliças folhosas que apresentam baixa absorção de Si, chamadas de não acumuladoras do elemento (<0,5% de SiO<sub>2</sub>), a aplicação foliar do elemento pode favorecer maior acúmulo do mesmo nos tecidos foliares (MARSCHNER, 1995).

. Nas plantas, uma variedade de funções é atribuída ao Si, especialmente às suas formas amorfas com respostas positivas no aumento da resistência das plantas a estresses abióticos e bióticos, como ataques de insetos e patógenos, salinidade, seca, inundação e altas e baixas temperaturas (RAMÍREZ-OLVERA et al., 2019; COSKUN et al., 2016; CRUSCIOL et al., 2018; VEGA et al., 2019). Esse elemento melhora o metabolismo primário, reduz a taxa de transpiração (CAMARGO et al., 2017), melhora a fotossíntese (VEGA et al., 2019) e a absorção de nutrientes (HAJIBOLAND et al., 2018) bem como o metabolismo secundário, estimulando a produção de compostos fenólicos com funções antioxidantes (por exemplo, flavonoides) ou estruturais (por exemplo, lignina e celulose), no aumento do número de folhas (VEGA et al., 2019; SCHALLER; BRACKHAGE; DUDEL, 2012; XU et al., 2015). Também foi comprovado a eficiência do Si na

germinação, no aumento do comprimento radicular (RAMÍREZ-OLVERA et al., 2019; TOBARI; MAJD; ENTESHARI, 2012) e na arquitetura das plantas (DORNELES et al., 2018).

A adubação silicatada pode ser aplicada tanto via solo quanto foliar, sendo que a adubação foliar tem sido muito utilizada na agricultura como complemento à adubação de base do solo, porém, não substitui total ou parcialmente a quantidade dos macronutrientes N-P-K (nitrogênio-fósforo-potássio) recomendada para aplicação por ocasião da semeadura ou em cobertura (COELHO, 2018). Entretanto, fertilizantes foliares oferecem uma vantagem específica sobre os fertilizantes aplicados via solo em determinados estádios fenológico das culturas, quando uma elevada demanda de nutrientes combina com a oferta inadequada destes pelo solo (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015), seja devido à ausência do elemento no solo ou indisponibilidade deste (ZEIST et al., 2018).

Estudos comprovam a eficiência do Si em diversas culturas, tais como: em *Triticum aestivum* L., onde a disponibilidade de silício modificou a eficiência e o conteúdo do uso de nutrientes e aumentou a produtividade (NEU; SCHALLER; GERT DUDEL, 2017). Em melão, a adubação silicatada aumentou o número, peso e massa de frutos (NASCIMENTO et al., 2020). Em morango, o uso do Si reduziu significativamente a severidade do oídio e aumentou o rendimento dos frutos comercializáveis (OUELLETTE et al., 2017).

Estudos em frutas e hortaliças vêm sendo realizados utilizando a adubação silicatada como uma alternativa para prolongar a conservação pós-colheita, pois o Si tem a função de proteção aos vegetais devido ao seu acúmulo acontecer na cutícula das folhas, auxiliando na redução da perda de água, no aumento da capacidade fotossintética e promovendo maior crescimento dos vegetais (GALATI et al., 2015).

A função estrutural do Si na parede celular se deve ao elevado conteúdo de hemicelulose e lignina, fazendo com que haja um aumento na rigidez da célula, contribuindo para a qualidade final do vegetal e, conseqüentemente, aumentam a firmeza das folhas de alfaces, reduzindo a perda de água durante o período pós-colheita, isto é, prolongando o tempo de prateleira da alface (EPSTEIN, 1999; BARBOSA FILHO et al., 2001).

Embora existam todas essas informações sobre o Si, os assuntos relacionados ao uso desse elemento benéfico na nutrição de plantas e seus efeitos sobre a produção agrícola de forma conclusiva permanecem em parte inexplorados. Alternativas como a

identificação e práticas para o manejo desse elemento nos programas de adubação podem desempenhar papel importante nos rendimentos da produção agrícola, mas para isso são necessários estudos aplicados que identifiquem e quantifiquem os teores de Si em solos e fertilizantes e assim permitam a recomendação de doses e épocas adequadas para a aplicação, o que é essencial para que a aplicação de Si seja uma das vias disponíveis para melhorar o desenvolvimento e a produtividade das culturas, sendo esta aplicação via solo ou foliar (MEENA et al., 2014).

Desse modo, a falta de maiores informações conclusivas sobre este elemento benéfico em hortaliças justifica o presente trabalho que objetivou avaliar a influência da aplicação foliar de doses de silicato de cálcio e metassilicato de sódio no crescimento, produção de biomassa e conservação pós-colheita da alface crespa.

## **2.2. Material e métodos**

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Parauapebas, Pará, nos meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019, compreendendo o período de 23/11/2018 (semeadura), até dia 09/01/2019 (última avaliação pós-colheita). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se na categoria equatorial superúmido, tipo Am no limite de transição para o Aw, com temperatura média anual de 26,4 °C, com duas estações bem definidas, sendo o período seco de junho a outubro e período chuvoso de novembro a maio. A umidade relativa média em 78%, com índice pluviométrico anual de aproximadamente 2.000 mm (PARÁ, 2012).

Nos experimentos I e II foi utilizada a variedade de alface crespa SRV 06511236 (Solaris), com objetivo de verificar se há resposta dessa hortaliça à adubação silicatada. As mudas utilizadas foram adquiridas de um produtor da região, onde foram selecionadas 90 mudas de alface, apresentando o mesmo padrão de porte e idade, sendo transplantadas para os vasos quando apresentavam oito centímetros de altura.

Foram utilizados vasos plásticos com capacidade para 3 dm<sup>3</sup> de solo, nos quais foi acondicionada uma única planta. O substrato utilizado consistia de um solo coletado na camada de 0 a 20 cm, no Setor de Sistema agroflorestal da UFRA, classificado como Argissolo Vermelho-amarelo (EMBRAPA, 2018).

Após a realização da coleta do solo, as amostras foram secadas, peneiradas em peneira com abertura de malha de 4 mm e homogeneizadas. Logo após, foi retirada uma

porção dessas amostras e submetida a análises químicas e granulométrica, a fim de caracterizar a fertilidade e a textura do solo. Foram determinados os seguintes atributos químicos: pH em  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , matéria orgânica (MO) pelo método de Walkley-Black modificado (EMBRAPA, 1997), com aquecimento externo; P extraído com Mehlich-1; Ca, Mg e K extraídos com resina trocadora de íons;  $\text{S-SO}_4^{2-}$  extraído com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ; Al trocável extraído com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ ; H+Al extraído com tampão SMP; B extraído com água quente; e Cu, Fe, Mn e Zn extraídos com Mehlich-1. Com base nos dados após as análises, foram calculadas soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V) e saturação por Al (m) seguindo os procedimentos descritos em Silva et al. (2009). Foram determinados os teores de areia, silte e argila pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2011). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos de fertilidade e granulometria do solo

| pH<br>( $\text{CaCl}_2$ ) | P                        |                                 | Ca   | Mg  | K      | SB   | S- $\text{SO}_4^{2-}$<br>mg $\text{dm}^{-3}$ | Al    | H+Al<br>cmol $\text{dm}^{-3}$ | CTC                | V<br>% | m  |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|------|-----|--------|------|--|-------|-------------------------------|--------------------|--------|----|
|                           | MO<br>g $\text{dm}^{-3}$ | Mehlich1<br>mg $\text{dm}^{-3}$ |      |     |        |      |  |       |                               |                    |        |    |
| 4,3                       | 13                       | 0,3                             | 1,1  | 0,4 | 0,18   | 1,58 | 5,0  | 0,3   | 2,5                           | 4,22               | 40     | <1 |
| Areia                     |                          |                                 |      |     |        |      |  |       |                               |                    |        |    |
| B                         | Cu                       | Fe                              | Mn   | Zn  | Grossa |      | Fina   | Total | Silte                         | Argila             |        |    |
|                           |                          | mg $\text{dm}^{-3}$             |      |     |        |      |  |       |                               | g $\text{kg}^{-1}$ |        |    |
| 0,53                      | 3,8                      | 194                             | 20,2 | 0,9 | 590    |      | 35   | 58    | 90                            | 320                |        |    |

A adubação foi feita de acordo com recomendação proposta por FILGUEIRA (2000) para a cultura da alface. Todas as plantas receberam adubação com 100 mg de nitrogênio, 200 mg de potássio e 2,083 mg de fósforo por vaso. O nitrogênio foi aplicado de forma parcelada (três vezes), sendo a primeira adubação realizada aos sete dias após o transplântio das mudas, e as demais com intervalos de 10 dias entre adubações. Utilizaram-se como fonte de nitrogênio, potássio e fósforo os fertilizantes ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples, respectivamente.

Em função da sanidade das plantas durante todo o período experimental, não foi necessária qualquer intervenção para o controle de pragas e doenças. A irrigação foi feita manualmente, com aplicação média de 200 mL de água/planta/dia, parcelados entre o turno da manhã e tarde.

O experimento I seguiu um esquema fatorial  $2 \times 5$ , correspondente a 2 fontes de Si (metassilicato de sódio e silicato de cálcio, na concentração de 29,5% de  $\text{SiO}_2$  e 88% de

SiO<sub>2</sub>, respectivamente) e cinco doses de silício (0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup>), com seis repetições. Os ensaios foram conduzidos em casa de vegetação e, pressupondo condições experimentais homogêneas, foi empregado, nos dois experimentos, o delineamento inteiramente casualizado (DIC).

As doses de silicato de cálcio e metassilicato de sódio foram aplicadas via foliar aos 20 dias após o transplântio (DAT), com auxílio de um pulverizador manual, com volume de 50 mL de calda por planta. Os intervalos foram estimados conforme o ciclo da cultura que varia entre 35 a 40 DAT. A colheita foi realizada aos 37 DAT. O valor de pH da calda com Si, em ambas as fontes, foi de 6,7 e as correções foram realizadas com solução de HCl (1,0 mol L<sup>-1</sup>) ou NaOH (1,0 mol L<sup>-1</sup>) e a pulverização foliar foi realizada a partir das 17 h.



**Figura 1.** Aplicação foliar de silicato de cálcio em plantas de alface

Durante as aplicações foliares nas plantas foram feitas barreiras laterais, evitando-se a contaminação via aérea dos vasos, pois, no momento da pulverização, as gotículas dissipam-se no ar, podendo ocasionar uma contaminação indesejada por outra fonte, garantindo assim melhor eficiência na realização da aplicação.

As plantas foram coletadas aos 37 DAT, separadas em parte aérea e raiz, determinado o comprimento da raiz (CR), número de folhas por planta (NF), a massa fresca de caule (MFC) e de folhas (MFF), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR).

As plantas foram pesadas em balança digital e a contagem das folhas por planta de alface, em seguida, foram separadas em parte aérea e raiz, medição do comprimento da raiz que foi realizado com auxílio de uma régua graduada (Figura 4) e em seguida pesadas para aferimento da massa fresca. Em sequência, todas as plantas foram lavadas

individualmente em água corrente e enxaguadas com água destilada e colocadas em sacos de papel devidamente identificados.

Todos os materiais foram transferidos para estufa de circulação forçada de ar, a temperatura de 65 °C, onde permaneceram até que as plantas atingissem massa constante. Após a secagem foi determinada a massa seca de cada planta e o material foi moído para realização das análises bioquímicas.



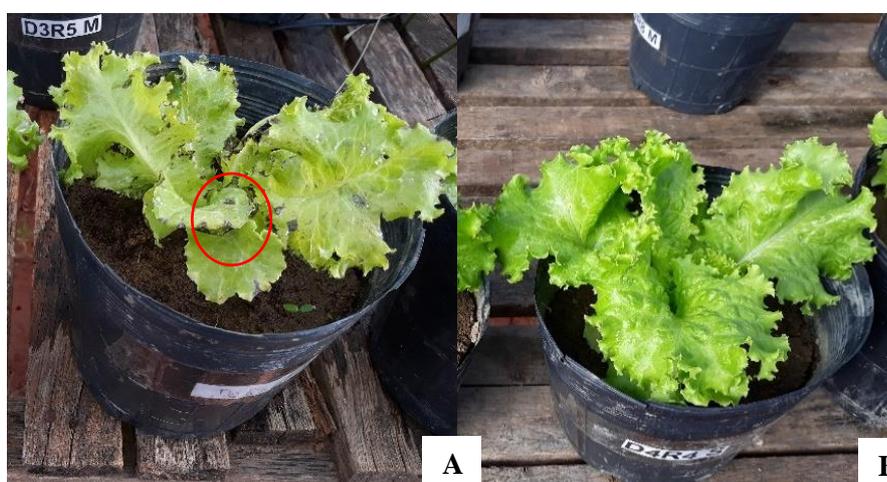
**Figura 2.** Comprimento da raiz de plantas de alfaca que foram submetidas ao tratamento com silicato de cálcio via foliar (0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup>).

Para a avaliação pós-colheita (Experimento II), aos 37 DAT foram coletadas três plantas de cada tratamento, acondicionadas em saco plástico e levadas a condições de refrigeração, sendo que a cada cinco dias foram pesadas onde foram feitas as avaliações pós-colheita até chegarem a uma condição em que estariam impróprias para comercialização, acompanhando-se o seguinte critério de notas: nota 0 – cabeças com apenas duas folhas ou menos (sem condição de comercialização); nota 1 – cabeças com mais de 3 folhas deterioradas (ainda aptas à comercialização); nota 2 – cabeças com no máximo 3 folhas deterioradas (aptas à comercialização); nota 3 – cabeças aptas à comercialização sem deterioração.

Os dados foram submetidos à análise de regressão nas diferentes concentrações de silicato de cálcio aplicados nas plantas de alfaca.

### 2.3. Resultados e discussão

Após a aplicação foliar de Si realizada aos 20 DAT, as plantas de alface que foram submetidas ao tratamento com metassilicato de sódio apresentaram sinais de toxidez, com manchas necróticas (Figura 3A), não sendo possível a coleta das plantas submetidas ao tratamento com essa fonte de silício, ao contrário das plantas que foram submetidas ao tratamento com silicato de cálcio onde apresentaram bom desenvolvimento até o final da colheita (Figura 3B), isso pressupõe que o sódio presente na composição da fonte metassilicato de sódio possa ter ocasionado a toxidez.



**Figura 3.** Plantas de alface que foram submetidas ao tratamento com metassilicato de sódio e apresentaram sinais de toxidez (A), plantas de alface que foram submetidas ao tratamento com silicato de cálcio (B) aos 20 DAT.

A colheita foi realizada quando foram observados sinais de senescência nas folhas basais, aos 37 dias após o transplantio (Figura 4).



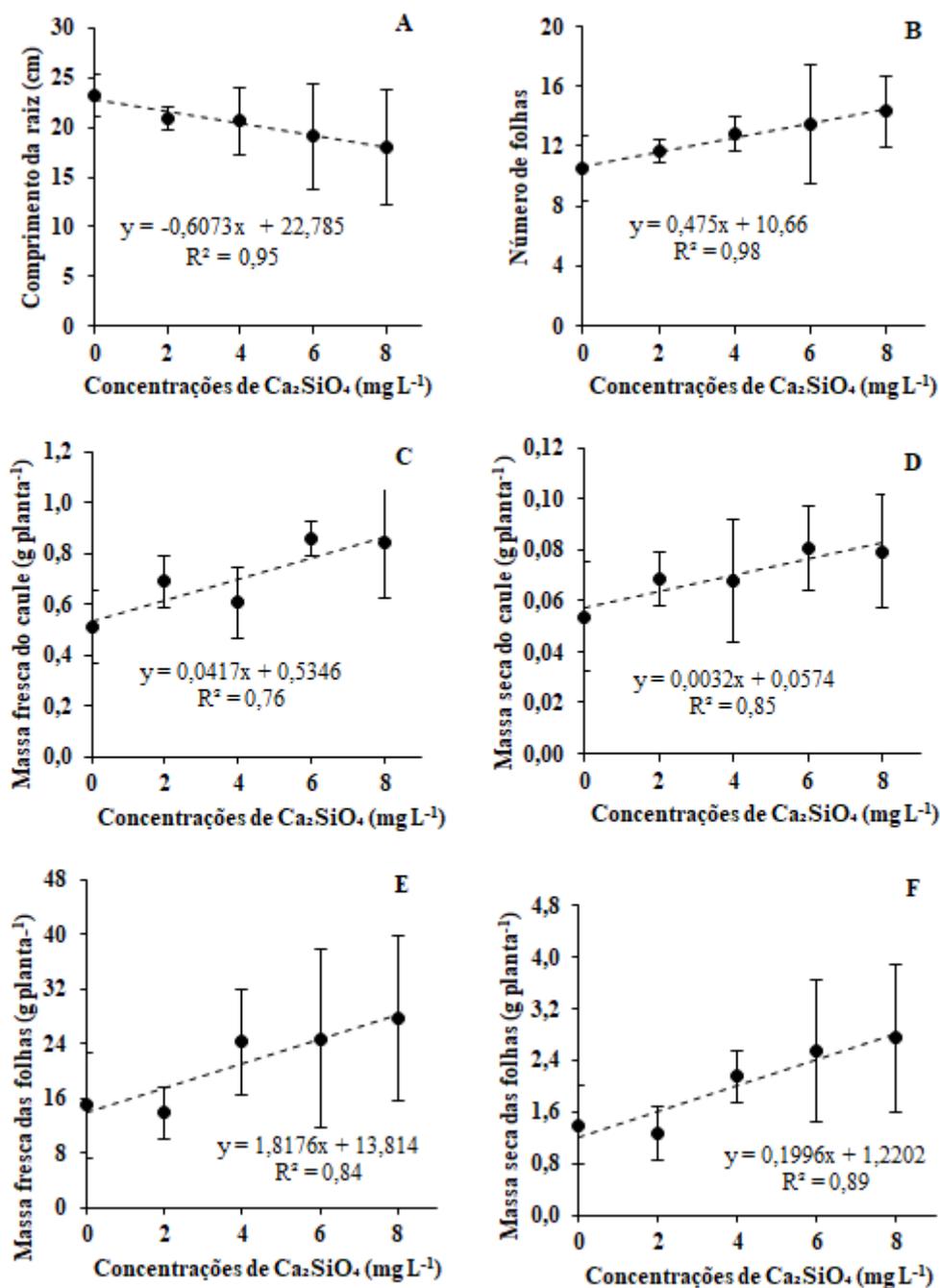
**Figura 4.** Plantas de alface que foram submetidas ao tratamento com silicato de cálcio (0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup>).

As médias de comprimento da raiz (Figura 5A) se ajustaram à equação linear ( $R^2=0,95$ ), indicando que uma redução no comprimento da raiz ocorreu em resposta ao aumento da concentração de Si, isto é, o maior comprimento ocorreu na ausência da fonte de silício. Pode-se inferir, portanto, que o acréscimo de qualquer dose de silicato de cálcio provoca diminuição do comprimento da raiz de plantas da alface, apresentando baixa produção de raízes. Os resultados encontrados estão de acordo com os mostrados por Jayawardana et al. (2014), os quais observaram redução no comprimento de raízes em plantas de *Capsicum annuum* L., via aplicação foliar e como fonte de silício o silicato de potássio.

Esses resultados indicam que a resposta ao silício provavelmente sofre o efeito das condições ambientais durante o período de crescimento e desenvolvimento das plantas. A redução no comprimento de raízes pode decorrer do fato de que, quando determinado elemento é absorvido em excesso, pode ocasionar um desbalanço nutricional na planta, inclusive o silício. Portanto, ao se estudar nutrição mineral é importante considerar os nutrientes como um todo, haja vista que, no processo de absorção dos nutrientes pode ocorrer que um exerça influência sobre a absorção do outro devido a possíveis interações que podem ocorrer (SOARES et al., 2008; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O aumento na concentração de Si aplicado via foliar resultou em incremento com ajuste linear ( $R^2=0,98$ ) do número de folhas por planta (Figura 5B). O aumento do número de folhas está relacionado ao efeito da pulverização foliar do Si em proporcionar incremento do elemento na planta, que pode ter favorecido as variáveis fisiológicas como a fotossíntese, o que já foi relatado por diversos autores e por ser a folha o seu principal órgão de deposição (EPSTEIN, 1999; TAKAHASHI; KURATA, 2007). Resultados semelhantes foram encontrados por NUNES et al. (2019) em tomateiro ao avaliarem os efeitos de diferentes doses de silício via aplicação foliar, verificando que houve incremento no número de folhas.

As variáveis massa fresca e seca do caule (Figura 5C, 5D) se ajustaram ao modelo linear ( $R^2= 0,76$ ) ( $R^2=0,85$ ), respectivamente. O silício promoveu incremento dessas variáveis, embora grande parte da deposição desse elemento após ser absorvido seja na folha, correspondendo a 71% do total e no caule apenas 13%, essa característica é de grande importância, pois irá refletir na capacidade que as plantas terão em sustentar o peso das folhas (YOSHIDA, 1975).



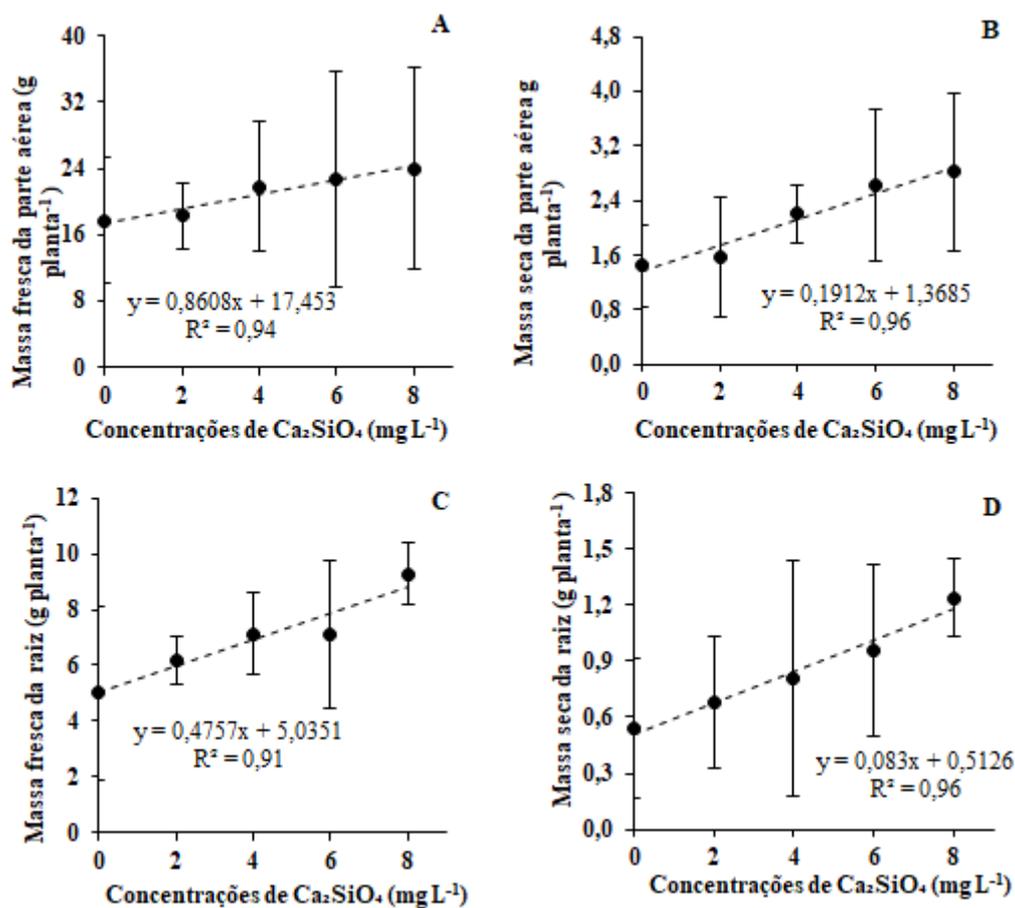
**Figura 5.** Comprimento da raiz (A), número de folhas (B), massa fresca do caule (C), massa seca do caule (D), massa fresca das folhas (E), massa seca das folhas (F) da cultivar SVR 06511236 de plantas de alface submetidas a concentrações de silicato de cálcio de 0 a 8 mg L<sup>-1</sup> via aplicação foliar. Parauapebas, PA, 2018.

Houve efeito positivo do silício na produção de massa fresca e seca das folhas (Figura 5E, 5F). O silício proporciona vários benefícios para as plantas, dentre os quais se destacam: maior teor de clorofila, aumentando assim a assimilação de nitrogênio em

compostos orgânicos nas células, o suprimento de carboidratos, o fornecimento de material para a parede celular; folhas mais eretas e diminuição do auto sombreamento (EPSTEIN; BLOM, 2006). Resende et al. (2003) observaram em alface americana, que a aplicação de cinco doses de silício (0; 0,9; 1,8; 2,7 e 3,6 kg/ha) de Si via foliar exerceu influência sobre a massa fresca e seca das folhas da cultura.

A aplicação de Si foliar incrementou linearmente ( $R^2=0,94$ ) a produção de massa fresca e seca da parte aérea das plantas (Figura 6A, 6B). Esse aumento está diretamente relacionado à função do Si nas plantas, tais como a redução do acamamento, deixando as folhas mais eretas, evitando o autossombreamento e aumentando a fotossíntese, tudo isso por meio da rigidez estrutural dos tecidos (FERREIRA et al., 2010). Os resultados diferem dos encontrados por Melo et al. (2015) avaliando a indução de resistência em plantas de crisântemo pela aplicação de silício no manejo de mosca-branca *Bemisia tabaci* Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae).

Para as variáveis massa fresca e seca das raízes (Figura 6C e 6D), as médias se ajustaram por meio da equação linear ( $R^2=0,91$  e  $R^2=0,96$ ), respectivamente. Observou-se que para essas duas variáveis a presença do Si atuou positivamente, ou seja, o Si favoreceu a produção de raízes. Embora a aplicação desse elemento tenha sido via foliar e sua concentração seja nos tecidos de suporte/sustentação do caule, nas folhas e, em menores concentrações, nas raízes (ELAWAD; GREEN JUNIOR, 1979). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por SÁ et al. (2015), os quais observaram incremento na massa fresca e seca das raízes em mamoeiro em função da adubação foliar com silício.



**Figura 6.** Massa fresca da parte aérea (A), massa seca da parte aérea (B), massa fresca da raiz (C), massa seca da raiz (D) da cultivar SVR 06511236 de plantas de alface submetidas a concentrações de silicato de cálcio de 0 a  $8 \text{ mg L}^{-1}$  via aplicação foliar. Parauapebas, PA, 2018.

A perda de massa pós-colheita (Tabela 2) foi reduzida com o aumento das doses de silicato de cálcio via foliar, sendo que na dose  $4 \text{ mg L}^{-1}$  apresentou menor perda de massa quando comparada as demais, com exceção da dose  $2 \text{ mg L}^{-1}$ , que apresentou maior perda de massa durante o tempo de armazenamento (42 e 47 dias pós-colheita). Essa perda de massa se deve ao fato de que quando a planta absorve o Si, ela forma cadeias mais pesadas de ácido polissilícico, ocorrendo a polimerização e as paredes dos estômatos ficam menos flexíveis, proporcionando o seu fechamento, conseqüentemente ocorre a redução da transpiração e a perda de água, aumentando o tempo de prateleira da alface, devido à perda de água ser um dos fatores que ocasionam a redução da vida pós-colheita de frutas e hortaliças, resultando em produtos de má qualidade e aparência (LUZ; GUIMARÃES; KORNDÖRFER, 2006; TAIZ et al., 2015; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Os resultados estão de acordo com os encontrados por Resende et al. (2003), avaliando a adubação foliar em alface americana no cultivo de verão, observaram que a concentração de 84 mg L<sup>-1</sup> de Si proporcionou melhor conservação pós colheita, reduzindo a perda de massa durante o período de armazenamento para a alface, a 8 ± 2 °C, por 16 dias.

**Tabela 2.** Perda de massa pós-colheita de plantas de alface pós-colheita em função da aplicação foliar com diferentes concentrações de Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (mg L<sup>-1</sup>).

| Concentração de Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) | Perda de massa pós-colheita (%) |        |
|--|---------------------------------|--------|
|  | 42 DAP*                         | 47 DAP |
| 0  | 7,46                            | 10,26  |
| 2  | 15,34                           | 26,74  |
| 4  | 3,29                            | 7,69   |
| 6  | 8,73                            | 11,17  |
| 8  | 4,96                            | 11,73  |
| Média  | 7,96                            | 13,52  |

\* Dias Após o Plantio

## 2.4. Conclusão

O uso do silício na forma de silicato de cálcio promoveu aumento na produção da alface e reduziu a perda de massa durante o período de conservação pós-colheita, aumentando a vida útil da cultura em prateleira. O metassilicato de sódio promoveu a morte das plantas de alface.

## 2.5. Referências

AZEVEDO, A.M. et al. Agrupamento multivariado de curvas na seleção de cultivares de alface quanto à conservação pós-colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 362-367, 2015.

BARBOSA, F.M.P. et al. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 325-330, 2001.

CAMARGO, M. S. de. et al. Silicon fertilization reduces the deleterious effects of water deficit in sugarcane. **J. Soil Sci. Plant Nutr.**, v. 17, p. 99–111, 2017.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras, 2005, p. 783.

COELHO, A.M. **Adubação foliar em milho utilizando fertilizantes multinutrientes**. Embrapa Milho e Sorgo -Artigo em periódico indexado (ALICE), p. 26-29, 2018,

COSKUN, D. et al. O papel do silício em plantas superiores sob salinidade e estresse hídrico. **Frontiers Plant Sci.**, v. 7, p. 1072, 2016.

CRUSCIOL, C.A.C. et al. Métodos e extratores para avaliar a disponibilidade de silício para cana-de-açúcar. **Sci.Rep**, v. 8, p. 916, 2018.

DORNELES, A.O.S. et al. Crescimento de genótipos de batata sob diferentes concentrações de silício. **Adv. Hort. Sci**, v. 32, p. 289-295, 2018.

ELAWAD, S.H.; GREEN JUNIOR, V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL RISO**, v. 28, p. 235-253, 1979.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, BR: Embrapa Solos, 2011, 230p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997, 85p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. 2018, 355p.

EPSTEIN, E. SILICON. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 1, p. 641–664, 28 jun. 1999.

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

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo**. São Paulo: Abisolo, 2015. 150 p.

FERREIRA, R.L.F. et al. Avaliação de cultivares de alface adubadas com silicato de cálcio em casa-de-vegetação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 5, p. 1093-1101, 2010.

FILGUEIRA F.A.R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, BR: UFV. 2008. 402p.

GALATI, V.C. et al. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana ‘Lucy Brown’ minimamente processada. **Ciência Rural**, v. 45, p.1932-1938, 2015.

GERRERO, A.C.; BORGES, L.S. da.; FERNANDES, D.M. Effect of foliar application of silicon in rocket grown in two types of soil. **Biosci. J.**, v. 27, n.4, p.591-596, 2011.

HAJIBOLAND, R. et al. Efeito da suplementação de silício no crescimento e metabolismo de plantas de morango em três estágios de desenvolvimento. **J. Crop Hort. Sci.** v. 46, p. 144-161, 2018.

JAYAWARDANA, H.A.R.K.; WEERAHEWA, H.L.D.; SAPARAMADU M.D.J.S. Effect of Root or Foliar Application of Soluble Silicon on Plant Growth, Fruit Quality and Anthracnose Development of *Capsicum*. **Tropical Agricultural Research**, v. 26, n. 1, p. 74-81, 2014.

KIM, M.J. et al. Nutritional value bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food Composition na Analysis**, v. 49, p. 19-34, 2016.

LUZ, J.M.Q.; GUIMARAES, S.T.M.R.; KORNDÖRFER, G.H. Produção de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, v. 4, p. 295–300, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, BR: Potafos, 1997, 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995, 889p.

MEENA, V. D. et al. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. Proceedings of the National Academy of Sciences of India – Section B – **Biological Sciences**, Allahabad, v. 84, n. 3, p. 505–518, 2014.

NASCIMENTO, C.W.A, do. et al. Influência da adubação com silício na acumulação de nutrientes, produção e qualidade de frutos do melão cultivado no Nordeste do Brasil. **Silicon**, n.12, p.937–943, 2020.

NEU, S.; SCHALLER, J.; GERT DUDEL, E. Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C:N:P stoichiometry, and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **A Nature Research Journal**, v.7, n. 40829, 2017.

NUNES, A. M. C. et al. Silício na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro. **Revista Científica Rural**, v.21, n.2, p. 239-258, 2019.

OUELLETTE, S. et al. Transportadores de silício e efeitos de alterações de silício em morango sob condições de túnel alto e campo. **Sci da planta da frente**, v.8, p.949, 2017.

PARÁ, Inventário da oferta turística: Parauapebas. Companhia Paraense de Turismo, p 102, 2012.

RAMÍREZ-OLVERA, S. M. et al. Silicon stimulates initial growth and chlorophyll a/b ratio in rice seedlings, and alters the concentrations of Ca, B, and Zn in plant tissues. **J. Plant Nutri.**, v.42, p.1928–1940, 2019.

RESENDE, G. M. et al. Adubação foliar com silício em alface americana (*Lactuca sativa* L.) em cultivo de verão. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 374-377, 2003.

SÁ, F.V.S, da. et al. Influence of silicon in papaya plant growth. **Científica**, v.43, n.1, p.77-83, 2015.

SCHALLER, J.; BRACKHAGE, C.; DUDEL, E. G. Silicon availability changes structural carbon ratio and phenol content of grasses. **Env. Exp. Bot.**, v. 77, p. 283–287, 2012.

SOARES, J. D. R. et al. Adubação com silício via foliar na aclimatização de um híbrido de orquídea. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 626-629, 2008.

TAIZ, L. et al. **Plant physiology and development**. Oxford: Sinauer Associates, 761 p, 2015.

TAKAHASHI, N.; KURATA, K. Relationship between transpiration and silica content of the rice panicle under elevated atmospheric carbon dioxide concentration. **Journal of Agricultural Meteorology**, v. 63, p. 89–94, 2007.

TOBARI, F.; MAJD, A.; ENTESHARI, S. Effect of exogenous silicon on germination and seedling establishment in *Borago officinalis* L. **J. Med. Plants Res.** v. 6, p.1896–901, 2012.

VALERIANO, T. T. B. et al. Alface americana cultivada em ambiente protegido submetida a doses de potássio e lâminas de irrigação. **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 620-630, 2016.

VEGA, I. et al. O silício melhora a produção de compostos fenólicos estruturais altamente antioxidantes ou estruturais em cevada sob cultivares sob estresse de alumínio. **Agronomy**, v. 9, n. 7, p. 388, 2019.

XU, C.X.; MA, Y.P.; LIU, Y.L. Effects of silicon (Si) on growth, quality and ionic homeostasis of aloe under salt stress .*South African Journal of Botany*,v.98,n.1,p. 26-36,2015.

YOSHIDA, S. **The physiology of silicon in rice**. Taipei: Food and Fertilization Technology Center, 1975. (FFTC. Technical Bulletin, 25).

ZEIST, A.R. et al. Fruit yield and gas exchange in bell peppers after foliar application of boron, calcium, and Stimulate. **Horticultura brasileira**, v. 36, n. 4, 2018.

### 3. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, CRESCIMENTO E AVALIAÇÃO PÓS-COLHEITA EM PLANTAS DE ALFACE SUBMETIDAS A PULVERIZAÇÃO FOLIAR DE SILICATO DE CÁLCIO EM DUAS ÉPOCAS

Australian Journal of Crop Science

#### Resumo

O uso do silício (Si) via pulverização foliar tem sido estudado em várias culturas devido ao benefício na produção e aumento da vida pós-colheita, sendo esses efeitos pouco estudados e não conclusivos em hortaliças folhosas como a alface. Diante disso, objetivou-se verificar o efeito da pulverização foliar de silício no crescimento, metabolismo bioquímico e na perda de massa durante o armazenamento da alface, em duas épocas de aplicação. Foram realizados dois experimentos, ambos em delineamento em blocos casualizados e utilizando como fonte de Si o silicato de cálcio. No experimento III, o esquema fatorial foi 5x2, com seis repetições, sendo 5 doses de Silicato de cálcio (0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup>) e duas épocas de aplicação foliar (20 e 27 DAT). O experimento IV foi em parcelas sub subdivididas, onde o primeiro fator correspondeu a 5 doses de silicato de cálcio (0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup>) e o segundo fator correspondeu a duas épocas de aplicação foliar (20 e 27 DAT), com quatro intervalos de pesagem (5, 10, 15 e 20 dias) e três repetições. As plantas de alface foram cultivadas em vasos de Leonard, preenchidos com areia, recebendo solução nutritiva de Hoagland e Arnon. Conclui-se que a aplicação foliar de Si influenciou as variáveis de crescimento: aumento de 18% na dose 4 mg L<sup>-1</sup> para da altura das plantas, redução no comprimento e massa fresca de raiz e, nas variáveis bioquímicas houve redução no teor de amônio e variações no teor de nitrato. A maior perda de massa ocorreu aos 27 DAT na dose 2 mg L<sup>-1</sup> em relação aos 20 DAT.

**Palavras chave:** Horticultura, *Lactuca sativa* L., nutrição mineral, elemento benéfico, análise de crescimento.

**PHYSIOLOGICAL, BIOCHEMICAL RESPONSES, GROWTH AND POST-HARVEST EVALUATION IN LETTUCE PLANTS SUBMITTED TO FOLIAR SPRAYING OF CALCIUM SILICATE IN TWO TIMES**

**Abstract**

The use of silicon (Si) via leaf spray has been studied in several cultures due to the benefit in production and increased post-harvest life, these effects being little studied and not conclusive in leafy vegetables such as lettuce. Therefore, the objective was to verify the effect of foliar spraying of silicon on growth, biochemical metabolism and loss of mass during storage of lettuce, in two application times. Two experiments were carried out, both in a randomized block design and using calcium silicate as the Si source. In experiment III, the factorial scheme was 5x2, with six replications, with 5 doses of Si (0; 2; 4; 6 and 8 mg L<sup>-1</sup>) and two times of foliar application (20 and 27 DAT). Experiment IV was in subdivided plots, where the first factor corresponded to 5 doses of Si (0; 2; 4; 6 and 8 mg L<sup>-1</sup>) and the second factor corresponded to two times of foliar application (20 and 27 DAT), with four weighing intervals (5, 10, 15 and 20 days) and three repetitions. The lettuce plants were grown in Leonard pots, filled with sand, receiving Hoagland and Arnon nutrient solution. It was concluded that the foliar application of Si influenced the growth variables: an increase of 18% in the dose 4 mg L<sup>-1</sup> for the height of the plants, a reduction in the length and fresh root mass, and in the biochemical variables there was a reduction in the content of ammonium and variations in nitrate content. The greatest loss of mass occurred at 27 DAT at a dose of 2 mg L<sup>-1</sup> compared to 20 DAT.

**Key words:** Horticulture, *Lactuca sativa* L., mineral nutrition, beneficial element, growth analysis.

### 3.1 Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa pertencente à família Asteraceae, originária de espécies silvestres da região do Mediterrâneo (região de clima temperado), sendo cultivada no mundo inteiro e consumida em saladas e como ingrediente de sanduíches. Devido sua origem ser de clima temperado, algumas cultivares foram desenvolvidas e adaptadas às condições tropicais (SALA; COSTA, 2012; ARANTES et al., 2014).

O número de estabelecimentos que produzem a alface no Brasil é de 108.603 unidades, que produzem um total de 908.186 toneladas por ano (IBGE, 2017). Desse modo, destaca-se como a hortaliça folhosa de maior importância econômica e social no Brasil, sendo consumida de forma *in natura*, preservando assim suas propriedades nutricionais, como a vitamina A e sais minerais (FREITAS et al., 2013). Embora tenha essa importância tanto comercial como para consumo, a alface é um produto altamente perecível durante a vida pós-colheita, devido ser constituída em grande parte por água, limitando seu cultivo próximo aos centros consumidores, os chamados “cinturões verdes” das grandes cidades (AZEVEDO et al., 2015).

A deterioração da alface inicia no momento da colheita, resultando em um produto muitas vezes de má aparência e qualidade, por isso, deve-se ter muito cuidado para que seja fornecido ao consumidor final e ao comerciante um produto de qualidade e boa aparência, haja vista que o mercado consumidor vem sendo cada dia mais exigente (ANTONIALI et al., 2014).

Estudos vêm sendo realizados utilizando a adubação silicatada como uma alternativa para prolongar a conservação pós-colheita de frutas e hortaliças, pois o Si tem a função de proteção aos vegetais devido ao seu acúmulo acontecer na cutícula das folhas, auxiliando na redução da perda de água, no aumento da capacidade fotossintética e promovendo maior crescimento dos vegetais (GALATI et al., 2015).

Quanto à função estrutural do Si na parede celular, esse elemento atua no mecanismo da transpiração e, seu acúmulo nos órgãos das plantas se deve pela formação de uma camada dupla de sílica cuticular, fazendo com que haja um aumento na rigidez da célula, contribuindo para a qualidade final do vegetal e, aumentando a firmeza das folhas de alfaces, reduzindo a perda de água durante o período pós-colheita, e consequentemente, prolongando o tempo de prateleira da alface (CAMARGO et al., 2007).

A alface está entre as hortaliças folhosas que apresentam baixa absorção de Si, chamadas de não acumuladoras ( $<0,5\%$  de  $\text{SiO}_2$ ), essa absorção ocorre por difusão passiva e também com a participação de transportadores localizados na exoderme e endoderme das raízes, portanto, a aplicação foliar do elemento pode favorecer maior acúmulo do mesmo nos tecidos foliares e ser a única forma eficiente de fornecimento para plantas não acumuladoras, como a maioria das hortaliças, prolongando a vida de prateleira ao reduzir a perda de água durante o armazenamento (KORNDORFER et al., 2004).

De acordo com Korndörfer (2007), embora a essencialidade do silício não tenha sido comprovada, existem várias culturas hortícolas que absorvem quantidades significativas, como o pepino, a abobrinha, o melão, o feijão e o morango. Especificamente para a cultura da alface, a importância da adubação silicatada vem sendo confirmada em alguns trabalhos, tais como: Feba et al. (2017); Galati et al. (2015) em que relataram em seus trabalhos o efeito da aplicação de silício na conservação pós-colheita da alface, maior firmeza das folhas, aumento nas variáveis de crescimento, respectivamente, porém, ainda há carência de maiores informações sobre o efeito desse elemento e a dosagem ideal capaz de aumentar a produtividade e conservação pós-colheita da alface.

Segundo Marodin et al. (2016), as melhorias elencadas se relacionam positivamente com o efeito do silício na eficiência fotossintética e na sua deposição nas paredes celulares das células epidérmicas (MARODIN et al., 2016). Há relatos também da eficiência do Si no incremento da produção de clorofila, esse efeito se deve ao fato de que após ser absorvido, o Si se deposita abaixo da cutícula epidérmica, formando uma camada dupla de sílica, com isso, as folhas ficam mais eretas e há maior taxa fotossintética e conseqüentemente, maior produção de clorofila (YOSHIDA et al., 1969). Outros cientistas têm afirmado que o uso do silício pode conferir resistência contra pragas e doenças, redução dos efeitos do excesso de metais potencialmente tóxicos, atenuação do estresse salino e da deficiência hídrica, resistência ao acamamento e, por fim, contribui para a diminuição da transpiração (RODRIGUES et al., 2011; BYBORDI, 2012; LIANG et al., 2007).

A forma de absorção dos elementos pelas plantas pode afetar os processos fisiológicos e bioquímicos no metabolismo dos vegetais e serem refletidos no crescimento das plantas, como exemplo dessas formas, temos o nitrogênio (N), elemento disponível para plantas e que encontra-se na solução do solo principalmente nas formas de nitrato

( $\text{NO}_3^-$ ) e de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (BORGOGNONE et al., 2013). Diante disso, alternativas como o fornecimento de Si no meio de cultivo pode ajudar na melhoria do funcionamento do metabolismo do N nas plantas, pelo acréscimo da atividade de algumas enzimas importantes, tais como: a redutase do nitrato, nitrato, a glutamina sintetase, da glutamato sintetase e da glutamato desidrogenase, o Si pode contribuir também para o aumento no teor de clorofila (FENG et al., 2010; BYBORDI, 2012; VATEHOVÁ et al., 2012).

Bioquimicamente na planta, o Si também atua por ter uma afinidade com os teores de lignina, que afeta sua síntese e acúmulo, com ocorrência da incorporação de fitólitos, ocasionado pela menor energia utilizada na sua biossíntese, portanto, através de modificações bioquímicas, o Si mantém o potencial produtivo da planta, atenuando estresses bióticos e abióticos (HAJIBOLAND et al., 2018; NEU; SCHALLER; DUDEU, 2017; MA; YAMAJI, 2006).

Na fisiologia da planta se tem observado que este elemento benéfico possui relação direta com o incremento na produção da clorofila, reduz a taxa respiratória, e de forma eficiente modula a expressão de proteínas relacionadas a assimilação de  $\text{CO}_2$ /fotossíntese, diminuição de homeostase, proteínas de regulação e síntese de proteínas (FLORES et al., 2019). A aplicação foliar de Si aumenta a eficiência quântica do fotossistema II, reduz a fluorescência inicial e a máxima, contribuindo para a melhoria da estabilidade do fotossistema, conforme observado em algodão, indicando efeito benéfico desse elemento em altas temperaturas (SOUZA FERRAZ et al., 2014).

Contudo, pouco se conhece também sobre a ação do silício no metabolismo bioquímico de plantas de alface, sendo necessária uma melhor compreensão da ação desse elemento nos teores de proteína, nitrato, redutase do nitrato, clorofila, amônio livre e nas variáveis de crescimento e de pós-colheita. A falta de maiores informações conclusivas sobre este elemento benéfico em hortaliças justifica o presente trabalho, que objetivou avaliar a influência da aplicação foliar de silicato de cálcio em duas épocas de aplicação no crescimento, produção de biomassa, metabolismo bioquímico e na pós-colheita de alface.

## 3.2. Material e métodos

### 3.2.1 Localização do experimento

Os experimentos foram realizados em uma casa de vegetação (Figura 1), na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias (ICA), pertencente a Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, Belém, PA, no período de 02 de setembro a 08 de outubro de 2019, com coordenadas geográficas de 01° 27' 21" S, 48° 30' 16" W e altitude média de 10 m. A classificação do clima é Af segundo a Köppen e Geiger com temperatura média de 26,8 °C e umidade relativa do ar de 81%



Figura 1. Localização do experimento

### 3.2.2 Delineamento experimental e descrição dos experimentos

O delineamento experimental do experimento III foi o de blocos casualizados, fatorial 5x2, com quatro repetições, totalizando 10 tratamentos. O primeiro fator correspondeu a 5 doses de silicato de cálcio (0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup>), utilizando a fonte silicato de cálcio, na concentração 88% de SiO<sub>2</sub>. O segundo fator correspondeu a duas épocas de aplicação foliar, sendo a primeira realizada aos 20 dias após o transplântio (DAT) e a segunda aplicação foi feita aos 27 dias após o transplântio (DAT).

O delineamento experimental utilizado no experimento IV foi o de blocos casualizados, com parcelas sub subdivididas. O primeiro fator correspondeu a cinco doses silicato de cálcio (0; 2; 4; 6 e 8 mg L<sup>-1</sup>), o segundo fator a duas épocas de aplicação (20 e 27 DAT), utilizando a fonte silicato de cálcio, na concentração 88% de SiO<sub>2</sub> e o terceiro fator a quatro intervalos de pesagem (5, 10, 15 e 20 dias), com três repetições.

### 3.2.3 Condução do experimento

A alface utilizada foi a cultivar Mônica, tipo crespa, que apresenta excelente qualidade comercial, volumosa, tolerante a temperaturas elevadas e ao pendoamento, ciclo de 60-70 dias da sementeira. As mudas foram preparadas em bandejas de poliestireno expandido (Isopor ®) contendo 288 células. Após o preenchimento das células das bandejas com os substratos (cama de aviário e caroço de açaí) foi realizada a sementeira. As sementes foram posicionadas no centro das células das bandejas, 0,5 cm de profundidade e cobertas com substrato. Foram utilizadas 4 sementes por células a fim de garantir uma planta em cada célula. Após germinação foi realizado o desbaste, deixando-se uma planta por célula.

Após o máximo desenvolvimento das mudas, que ocorreu aos 15 dias após a sementeira, para o experimento III foram escolhidas 40 plântulas e para o experimento IV 30 plântulas e transplantadas para vasos de Leonard com capacidade de 4,6 L adaptados e envolvidos com papel alumínio para evitar o aparecimento de algas, contendo areia lavada e autoclavada e solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950), constituída por 1 mM NaNO<sub>3</sub>, 2 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 5 mM Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, 1 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2 mM Mg(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.7H<sub>2</sub>O, 5 KCl, 46,26 µM H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 9,15 µM MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, 1 µM ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,50 µM CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, 0,09 µM H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O, 89,00 µM FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 89,57 µM Na<sub>2</sub>EDTA, com meia força iônica, após 10 dias, a solução nutritiva foi modificada para força total.

### 3.2.4 Pulverização foliar de Si

Para a aplicação foliar, utilizou-se pulverizador manual com volume de 50 mL de calda por planta em intervalos de 20 e 27 DAT de uma para a outra pulverização, respectivamente. Esses intervalos foram estimados conforme o ciclo da cultura. O valor de pH da calda com Si, em ambas as fontes, foi de 6,7 e as correções foram realizadas com solução de HCl (1,0 mol L<sup>-1</sup>) ou NaOH (1,0 mol L<sup>-1</sup>). A pulverização foi realizada na parte aérea das plantas a partir das 17 h.

Durante as aplicações foliares nas plantas foram feitas barreiras laterais, evitando-se a contaminação via aérea dos vasos, pois, no momento da pulverização, as gotículas dissipam-se no ar, podendo ocasionar uma contaminação indesejada por outra fonte, garantindo assim melhor eficiência na realização da aplicação. Após 10 dias da última aplicação, a colheita foi realizada, totalizando um ciclo de 37 dias após o transplante.

### 3.2.5 Variáveis biométricas e bioquímicas analisadas

No experimento III, as variáveis analisadas no momento da colheita foram as seguintes: Número de Folhas (NF), Altura da Planta (AP), Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Fresca da Raiz (MFR) e Massa Seca da Raiz (MSR), Massa Fresca das Folhas (MFF) e Massa Seca das Folhas (MSF).

Com auxílio de uma régua milimetrada, foi obtida a altura da parte aérea (cm), medindo a distância entre o nível do solo, na região do colo da planta, e a inserção do último par de folhas expandidas. Para a medição do comprimento da raiz, foi utilizada uma régua milimetrada (cm), separando-a da parte aérea e lavada em água corrente, para separação das impurezas. Também foi determinado o número de folhas por planta.

Após a coleta biométrica os materiais vegetais foram pesados em balança digital, para a verificação da matéria fresca das amostras, em seguida foram lavadas com água corrente e as folhas foram secadas em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C. Após a secagem, todo o material foi pesado para a verificação da matéria seca, e em seguida moído em moinho Tipo Willey, armazenado em tubos de falcon até a utilização nos ensaios das análises bioquímicas.

Para a determinação da redutase do nitrato (RN), a coleta das plantas foi feita retirando-se material foliar fresco nas primeiras horas do dia e transportadas em caixas de isopor, seguindo a metodologia proposta por Hageman; Hucklesby (1971). Em seguida, amostras foliares foram envolvidas em papel alumínio e armazenadas em freezer para a determinação do teor de clorofilas (LICHTENTHALER, 2001).

### 3.2.6 Avaliação pós-colheita

No experimento IV, as plantas foram coletadas, pesadas em balança digital (Figura 2), acondicionadas em saco plástico sob condições de refrigeração a 5 °C, sendo que a cada cinco dias foram pesadas onde foram feitas as avaliações pós-colheita até chegarem a uma condição em que estariam impróprias para comercialização que foi de 20 dias. A fórmula utilizada foi de acordo com CHITARRA; CHITARRA (2005).

$$PM(\%) = \frac{P_i - P_j}{P_i} * 100$$

PM = perda de massa (%),

P<sub>i</sub> = peso inicial (g)

P<sub>j</sub> = peso no período subsequente a P<sub>i</sub> (g).



Figura 2. Pesagem das alfaces

Foram realizadas análises bioquímicas para a determinação dos teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (CATALDO et al., 1975); atividade da enzima redutase do nitrato ( $\text{RNO}_3^-$ ) (HAGEMAN; HUCKLESBY, 1971); amônio livre ( $\text{NH}_4^+$ ) (WEATHERBURN, 1967); proteínas solúveis totais (PST) (BRADFORD, 1976) e clorofilas (LICHTHENTHALER, 2001).

### 3.2.7 Análise estatística

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância pelo teste F, e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram avaliados utilizando-se o programa SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2019).

## 3.3 Resultados e discussão

As concentrações de silicato de cálcio, aplicadas via foliar, assim como a época após o transplante (20 e 27 DAT), influenciaram as variáveis de crescimento altura da planta, comprimento da raiz e matéria fresca da raiz. E nas variáveis bioquímicas houve efeito nos teores amônio e nitrato.

Na variável número de folhas (Tabela 1), não houve efeito, embora as maiores produções de matéria fresca obtidas para as plantas com a adição de Si sejam nas folhas,

que é o órgão de maior deposição de Si (MENEGALE; CASTRO; MANCUS, 2015). Os resultados encontrados diferem dos encontrados por Donegá (2009) em coentro submetidos a aplicação de silício contendo 56 mg L<sup>-1</sup>, o mesmo observou aumento no número de folhas.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância com a significância do teste F para as características agrônômicas avaliadas.

| Causas de variação | Nº de folhas         | Altura da planta     | Comprimento da raiz  |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Época              | 0.0941 <sup>NS</sup> | 1.3599 <sup>NS</sup> | 0.1458 <sup>NS</sup> |
| Dose               | 0.3382 <sup>NS</sup> | 3.2326*              | 0.7356 <sup>NS</sup> |
| Época x Dose       | 2.2319 <sup>NS</sup> | 1.4382 <sup>NS</sup> | 4.1384*              |
| Blocos             | 0.6314 <sup>NS</sup> | 4.8281**             | 2.1871 <sup>NS</sup> |
| CV (%)             | 26.2                 | 5.6                  | 2.2                  |

NS: não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\* significativo a 1% de probabilidade, CV: coeficiente de variação

A variável altura da planta (Tabela 1 e 5) foi influenciada pelo aumento das concentrações de silicato de cálcio via foliar. Houve aumento de 18,9% na dose 4 mg L<sup>-1</sup> em relação ao tratamento controle (sem Si). Estes resultados demonstram a eficiência do uso do silício via foliar no crescimento vegetativo da alface. O aumento na disponibilidade de Si promove incrementos no crescimento das plantas, haja vista que esse elemento pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fisiológicos e bioquímicos, modificando a arquitetura das plantas, evitando o autossombreamento, maior rigidez estrutural dos tecidos, aumento da resistência mecânica das células, proporcionando folhas mais eretas (ABDALLA, 2011). Sá et al. (2015), avaliando a influência do silício no crescimento de plantas de mamoeiro também observaram que as doses de silício via foliar favoreceram a altura das plantas.

Houve efeito da interação de época e doses para as variáveis comprimento da raiz (Tabela 1) e matéria fresca da raiz (Tabela 2). Em relação ao comprimento da raiz, verificou-se diferentes respostas decorrentes da utilização de doses de silicato de cálcio. Aos 20 dias da primeira aplicação foliar de silício não houve efeito. Já na segunda aplicação (27 DAT), a dose 6 mg L<sup>-1</sup> apresentou maior comprimento de raiz. Em relação a aplicação foliar aos 20 dias e 27 dias, não houve diferença até a dosagem de 2 mg L<sup>-1</sup>, ou seja, a diferença ocorreu na dose 4 mg L<sup>-1</sup> de Si aos 27 DAT.

De acordo com Name et al. (2016), o comprimento radicular é um dos melhores parâmetros utilizados em estudos relacionados à absorção de água e nutrientes, já que um sistema radicular mais desenvolvido está associado a maior exploração do volume do solo. Logo, quanto maior o comprimento e biomassa de raízes, maiores serão as chances de uma planta absorver elementos minerais, entre eles, o silício e a água necessários para o seu crescimento e desenvolvimento, principalmente em ambientes com restrição desses elementos.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância com a significância do teste F para as características agronômicas avaliadas.

| Causas de variação | Matéria fresca das folhas | Matéria fresca da raiz | Matéria seca das folhas |
|--------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| Época              | 0.1972 <sup>NS</sup>      | 0.3905 <sup>NS</sup>   | 0.4173 <sup>NS</sup>    |
| Dose               | 0.6727 <sup>NS</sup>      | 1.2052 <sup>NS</sup>   | 1.5253 <sup>NS</sup>    |
| Época x Dose       | 0.5739 <sup>NS</sup>      | 2.8167*                | 0.9001 <sup>NS</sup>    |
| Blocos             | 0.0492 <sup>NS</sup>      | 0.6824 <sup>NS</sup>   | 1.1553 <sup>NS</sup>    |
| CV (%)             | 12.1                      | 1.8                    | 3.4                     |

NS: não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\* significativo a 1% de probabilidade, CV: coeficiente de variação

Observou-se que para essa variável a presença do Si atuou positivamente, ou seja, houve o favorecimento na produção de biomassa de raízes. Estes resultados confirmam os encontrados por Pohlmann; Knies; Ludwig (2018) avaliando o efeito da adubação silicatada sobre a produção e na qualidade visual da rúcula, onde observaram que as doses de silício favoreceram o comprimento de raízes.

Na matéria fresca das raízes, aos 20 dias da primeira aplicação foliar, foi observado que houve efeito, diferentemente do que ocorreu na segunda aplicação foliar (27 DAT), onde não foi observado efeito, ou seja, as doses de silicato de cálcio fornecidas às plantas não proporcionaram incrementos para a característica relacionada, mostrando que o silício deve ser aplicado não muito próximo à colheita. Ao se comparar as duas épocas de aplicação, verifica-se que apenas a dose 4 mg L<sup>-1</sup> proporcionou efeito da pulverização foliar de silício na massa fresca das raízes. Os resultados encontrados discordam dos encontrados por Pohlmann; Knies; Ludwig (2019), avaliando a adubação foliar silicatada na cultura do rabanete, onde concluíram que doses silicato de cálcio foliar não influenciaram a matéria fresca das raízes.

As matérias fresca e seca das folhas (Tabela 2) não diferiram em função da aplicação de doses de silicato de cálcio e nem por épocas de aplicação. E esses resultados podem estar diretamente relacionados à redução do número de folhas de alface (Tabela 1), proporcionado pela aplicação foliar de Si. Sendo assim, o uso do silício pode ter sido prejudicial ao acúmulo de massa fresca e seca das folhas. Os resultados estão de acordo com os encontrados por Melo; Moraes; Carvalho (2015), avaliando a indução de resistência em plantas de crisântemo pela aplicação de silício no manejo de mosca-branca *Bemisia tabaci* Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae), onde concluíram que doses de Si foliar não influenciaram a matéria fresca e seca das folhas.

Na Tabela 3 se observa que não houve efeito para a atividade da enzima redutase do nitrato, provavelmente o Si tenha interferido na absorção de algum nutriente, entre eles, o nitrogênio, pois a absorção de Nitrogênio pelas plantas é um fator importante na indução e na manutenção da atividade da enzima redutase do nitrato nos tecidos vegetais, pois a síntese dessa enzima é afetada por variações no suprimento de nitrogênio sendo induzida por  $\text{NO}_3^-$  e ainda são poucos os estudos sobre a eficiência no uso do silício no metabolismo do N (TAIZ; ZEIGER, 2012; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Esses resultados discordam dos encontrados por Gou et al. (2020) observaram que a aplicação de Si melhorou a atividade da enzima redutase do nitrato em plantas de pepino.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância com a significância do teste F para as características bioquímicas avaliadas.

| Causas de variação | Redutase do nitrato  | Proteínas            | Amônio               | $\text{NO}_3^-$      | Clorofila a          |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Época              | 1.4441 <sup>NS</sup> | 0.8075 <sup>NS</sup> | 0.8825 <sup>NS</sup> | 1.9362 <sup>NS</sup> | 0.8663 <sup>NS</sup> |
| Dose               | 0.6131 <sup>NS</sup> | 3.3410*              | 4.4653**             | 2.8840*              | 2.0472 <sup>NS</sup> |
| Época x Dose       | 0.9049 <sup>NS</sup> | 2.8593*              | 2.2129 <sup>NS</sup> | 1.0782 <sup>NS</sup> | 1.0883 <sup>NS</sup> |
| Blocos             | 0.9566 <sup>NS</sup> | 1.5815 <sup>NS</sup> | 0.7779 <sup>NS</sup> | 1.9664 <sup>NS</sup> | 0.3851 <sup>NS</sup> |
| CV (%)             | 25.7                 | 0.3                  | 9.1                  | 15.7                 | 24.7                 |

NS: não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\* significativo a 1% de probabilidade, CV: coeficiente de variação

Houve efeito de dose e época e dose para o teor de proteínas solúveis totais, onde aos 20 dias da primeira aplicação foliar, as doses de silicato de cálcio não tiveram efeito nos teores de proteína. Já aos 27 dias de aplicação, as médias variaram, sendo que a maior média foi apresentada pelo tratamento controle (sem Si). Nas duas épocas de aplicação

houve diferença apenas nas doses 0 e 2 mg L<sup>-1</sup> aos 27 DAT. O Si exerce um papel na ligação de aminoácidos para formar certas proteínas, além de estar ativamente envolvido nas informações do DNA e funcionamento do mRNA (SOUNDARARAJAN et al., 2014).

Resultados diferem dos encontrados por Al-Mayahi (2016), avaliando os efeitos do silício (Si), na concentração de 3,6 mM (como cálcio silicato), em plantas de *Phoenix dactylifera* L., observou que a adição de silício aumentou o teor de proteína nas folhas em comparação com as plantas controle.

**Tabela 4** - Efeito da pulverização foliar de silício em duas épocas de aplicação (20 e 27 DAT) no comprimento da raiz, matéria fresca da raiz, proteína em plantas de alface. Belém (PA), 2019.

| Época<br>(DAT) | Si<br>mg L <sup>-1</sup> | Comprimento da raiz<br>(cm) | Matéria fresca da raiz<br>(g) | Proteína<br>(mg proteína g <sup>-1</sup> MS) |
|----------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| 20             | 0                        | 36,7 ± 3,1 Aa               | 0,040 ± 0,018 Ab              | 37,1 ± 1,2 Ba                                |
| 20             | 2                        | 27,7 ± 1,2 Aa               | 0,052 ± 0,003 Aab             | 38,2 ± 0,2 Aa                                |
| 20             | 4                        | 36,3 ± 6,2 Aa               | 0,067 ± 0,003 Aa              | 35,8 ± 1,1 Aa                                |
| 20             | 6                        | 28,0 ± 4,2 Ba               | 0,040 ± 0,011 Ab              | 36,7 ± 1,9 Aa                                |
| 20             | 8                        | 30,5 ± 5,4 Aa               | 0,054 ± 0,006 Aab             | 37,5 ± 0,5 Aa                                |
| 27             | 0                        | 32,5 ± 7,4 Aab              | 0,045 ± 0,015 Aa              | 39,4 ± 1,4 Aa                                |
| 27             | 2                        | 31,8 ± 5,3 Aab              | 0,044 ± 0,010 Aa              | 36,3 ± 1,0 Bb                                |
| 27             | 4                        | 26,3 ± 4,0 Bb               | 0,037 ± 0,010 Ba              | 36,5 ± 1,2 Ab                                |
| 27             | 6                        | 36,0 ± 5,9 Aa               | 0,052 ± 0,016 Aa              | 37,2 ± 1,2 Aab                               |
| 27             | 8                        | 30,0 ± 2,9 Aab              | 0,050 ± 0,013 Aa              | 37,7 ± 1,7 Aab                               |

Colunas com letras maiúsculas diferentes entre as épocas de aplicação (20 e 27 DAT sob mesma concentração de Si) e letras minúsculas entre tratamentos de Si (0, 2, 4, 6 e 8 mg L<sup>-1</sup> de Si sob mesma época de aplicação) indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores descritos correspondem à médias de quatro repetições e DP

Observa-se nas Tabelas 3 e 5 que houve uma redução de 45% no teor de amônio livre nas folhas na dose 2 mg L<sup>-1</sup> em relação ao tratamento controle sem Si, portanto, infere-se que os resultados encontrados em resposta ao Si podem ser atribuídos a mecanismos fisiológicos como diferentes taxas de absorção e translocação (BARBOSA FILHO et al., 2001). Os resultados estão de acordo com os encontrados por Gou et al. (2020) observaram que a aplicação de Si reduziu o teor de amônio livre em plantas de pepino.

O teor de nitrato aumentou 7,5 % na dose 2 mg L<sup>-1</sup>, reduziu 30,3% na dose 4 mg L<sup>-1</sup> seguida de um aumento de 1,5 % na dose 6 mg L<sup>-1</sup> em relação ao tratamento controle sem silício (Tabela 3 e 5). Esses resultados se devem à uma possível inibição competitiva entre os ânions H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pelos sítios de absorção da planta. Os resultados estão de acordo com os encontrados por Ávila et al. (2010), estudando a interação entre silício e nitrogênio em arroz.

**Tabela 5** - Efeito da pulverização foliar de silício em duas épocas de aplicação (20 e 27 DAT) na altura da planta, amônio e nitrato em plantas de alface. Belém (PA), 2019.

| Si<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | Altura da planta<br>(cm) | Amônio<br>(mmol de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> de MS) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mmol de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kg <sup>-1</sup> MS) |
|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| 0                           | 21,86 ± 1,95 b           | 16,08 ± 6,34 a  | 0,066 ± 0,014 ab   |
| 2                           | 22,63 ± 2,50 ab          | 8,77 ± 1,83 b   | 0,071 ± 0,016 a  |
| 4                           | 26,00 ± 2,52 a           | 15,29 ± 5,27 a  | 0,046 ± 0,016 b  |
| 6                           | 23,29 ± 1,80 ab          | 12,40 ± 4,13 ab   | 0,067 ± 0,012 ab   |
| 8                           | 22,88 ± 2,30 ab          | 10,17 ± 2,60 ab   | 0,052 ± 0,016 b  |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores descritos correspondem à médias de quatro repetições e DP

Quanto à variável clorofila a (Tabela 3), não houve efeito, provavelmente devido ao sombreamento no interior da casa de vegetação, pois, dentre os fatores externos, a luz é um dos principais para que haja acúmulo de pigmentos fotossintetizantes, ou seja, em condições de baixa luminosidade ocorre a redução na biossíntese dos pigmentos, o que pode ter ocasionado nas plantas de alface (BUCHANAN et al., 2000).

Na tabela 6 observamos que não houve efeito de interação tripla, ou seja, o aumento das doses silicato de cálcio e nem a época de aplicação não influenciaram para a redução na perda de massa durante o período de armazenamento, isto é, embora o produtor pulverize o Si na forma de silicato de cálcio em doses superiores não haverá efeito.

A avaliação pós-colheita foi feita até o vigésimo dia de armazenamento, pois a partir daí as alfaces já caracterizaram um produto de má aparência para consumo, essas pesagens foram realizadas a cada 5 dias, portanto, observa-se que houve maior perda de massa aos 20 dias de medição, este aumento da perda de água com o tempo de armazenamento das hortaliças folhosas é um fato natural e conhecido (Tabela 7),

evidenciando que o Si não foi favorável à redução na perda de massa durante o período de armazenamento.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância com a significância do teste F referente à perda de massa por planta.

| Causa de variação        | F                    |
|--------------------------|----------------------|
| Intervalo                | 103.56 <sup>**</sup> |
| Época                    | 2.38 <sup>NS</sup>   |
| Dose                     | 3.19 <sup>*</sup>    |
| Intervalo x Época        | 0.21 <sup>NS</sup>   |
| Intervalo x Dose         | 0.25 <sup>NS</sup>   |
| Época x Dose             | 4.65 <sup>**</sup>   |
| Intervalo x Época x Dose | 0.44 <sup>NS</sup>   |
| Blocos                   | 35.96 <sup>**</sup>  |
| CV Intervalo (%)         | 12.9                 |
| CV Época (%)             | 30.7                 |
| CV Dose (%)              | 33.6                 |

NS: não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\* significativo a 1% de probabilidade, CV: coeficiente de variação.

**Tabela 7.** Efeito da pulverização foliar na perda de massa por planta (%) em alface.

| Intervalo<br>(Dias) | Perda de massa por planta (%) |
|---------------------|-------------------------------|
| 5                   | 5,15 ± 1,38 d                 |
| 10                  | 9,23 ± 2,59 c                 |
| 15                  | 14,17 ± 3,26 b                |
| 20                  | 16,96 ± 3,33 a                |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores descritos correspondem à médias de três repetições e DP

Na tabela 8 observamos que o conteúdo de água foi influenciado pela dose e época de aplicação, onde aos 20 dias houve efeito da aplicação de Si na perda de massa pelas plantas, em que a dose 4 mg L<sup>-1</sup> obteve a maior média, diferentemente do que aconteceu na segunda aplicação de Si (27 DAT) em que o silício não proporcionou efeito.

Em relação a perda de massa nos dois períodos de aplicação foliar, observamos que a segunda aplicação que foi feita aos 27 DAT houve uma maior perda de massa na dose 2 mg L<sup>-1</sup> quando comparada a aplicação aos 20 DAT, provavelmente, isso tenha ocorrido porque aplicando Si via foliar seja necessário um tempo maior para que o mesmo tenha efeito na morfologia da planta, proporcionando maior firmeza e rigidez das folhas, portanto, quanto mais próxima da colheita não houve efeito de Si pelas folhas. Resultados semelhantes foram encontrados por Dissanayake et al. (2020), avaliando o desempenho de espécies selecionadas de flores de corte e folhagem de corte afetadas por tratamentos pós-colheita à base de silício, observaram que o silício não favoreceu a vida pós-colheita.

**Tabela 8.** Efeito da pulverização foliar de silício em duas épocas de aplicação (20 e 27 DAT) no conteúdo de água.

| Época<br>(DAT) | Si (mg L <sup>-1</sup> ) |                 |                 |                  |                  |
|----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
|                | 0                        | 2               | 4               | 6                | 8                |
| 20             | 9,34 ± 5,52 Abc          | 5,22 ± 2,41 Bc  | 16,62 ± 4,42 Aa | 9,35 ± 3,71 Aabc | 14,05 ± 4,81 Aab |
| 27             | 14,43 ± 7,66 Aa          | 13,39 ± 3,87 Aa | 9,74 ± 3,36 Aa  | 8,17 ± 2,71 Aa   | 13,48 ± 4,52 Aa  |

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores descritos correspondem à médias de três repetições e DP

### 3.4. Conclusão

A aplicação foliar de Si influenciou as variáveis de crescimento da alface: para a altura das plantas houve aumento de 18,9% na dose 4 mg L<sup>-1</sup> em relação ao tratamento controle (sem Si), redução no comprimento da raiz e matéria fresca da raiz.

Para as variáveis bioquímicas, a aplicação foliar de Si ocasionou redução de 45% no teor de amônio livre nas folhas na dose 2 mg L<sup>-1</sup> em relação ao tratamento controle sem Si e variações nos teores de nitrato, onde aumentou 7,5 % na dose 2 mg L<sup>-1</sup>, reduziu 30,3% na dose 4 mg L<sup>-1</sup>, seguida de um aumento de 1,5 % na dose 6 mg L<sup>-1</sup> em relação ao tratamento controle sem silício.

A maior perda de massa pós-colheita ocorreu aos 27 DAT na dose 2 mg L<sup>-1</sup> em relação aos 20 DAT, isso mostra que é necessário um período de tempo maior para que o Si faça efeito, aumentando assim, a rigidez da folha.

### 3.5. Referências

ABDALLA, M. M. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v. 2, n. 2, p. 207-220, 2011.

AL-MAYAH, A.M.W. Effect of Silicon (Si) Application on *Phoenix dactylifera* L. Growth under Drought Stress Induced by Polyethylene Glycol (PEG) *in Vitro*. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, p. 1711-1728, 2016.

ANTONIALI, S.; SANCHES, J.; NACHILUK, K. Mais alimentos ou menos perdas? Disponível em: Acesso em 21 de Dezembro de 2018.

ARANTES, C.R.D.A, et al. Produção e tolerância ao pendoamento de alface-romana em diferentes ambientes. **Revista Ceres**, v.61, p.558-566. 2014.

ÁVILA, F.W, et al. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.2, p.184-190, 2010.

AZEVEDO, A. M, et al. Agrupamento multivariado de curvas na seleção de cultivares de alface quanto à conservação pós-colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 362-367, 2015.

BARBOSA FILHO, M.P, de. et al. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p.325-330, jun. 2001.

BORGOGNONE, D. et al. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Scientia Horticulturae*, v. 149, p. 61-69, 2013.

BRADFORD, M. M. **A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding**. *Anal. Biochem*, 1950, v. 72, p. 248.

BUCHANAN, B. B. et al. (Ed.). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville: ASPP. 2000. 1408p.

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

CAMARGO, M.S. et al. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, v.66, n.4, p. 637-647, 2007.

CATALDO, D.A, et al. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**. Fisiologia e Manuseio. 2 ed. Lavras: FAEPE, 2005.

DISSANAYAKE, D.M.P.S. et al. Desempenho de espécies selecionadas de flores de corte e folhagem de corte afetadas por tratamentos pós-colheita à base de silício. **Acta Horticulturae**,v.1278,p.157-164,2020.

DONEGÁ, A.M. **Relação K:Ca e aplicação de silício na solução nutritiva para o cultivo hidropônico em coentro**. São Paulo: USP. 63f (Dissertação Mestrado em Agronomia).

EPSTEIN; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina, BR: Planta, p.403, 2006.

FEBA, L. T. et al. Silício promove melhor conservação pós-colheita da alface. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. Especial, Jul–Dez, p. 189-195, 2017.

FENG, J. et al. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 4, p. 521- 530, 2010.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.

FLORES, R.A. et al. Importância do silício na bioquímica e fisiologia de plantas. Nutrição e Adubação de grandes culturas na Região do Cerrado, p.77-95, 2019.

FREITAS, G.A. et al. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 159-166, 2013.

GALATI, V. C. et al. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana „Lucy Brown“ minimamente processada. **Ciência Rural**, v.45, n.11, p.1932-1938, 2015.

GOU, T. et al. O silício melhora o crescimento do pepino sob estresse excessivo de nitrato, aumentando a assimilação de nitrogênio e a síntese de clorofila. **Fisiologia e Bioquímica Vegetal**, v. 152, p. 53-61, 2020.

HAGEMAN, R. H.; HUCKLESBY, D. P. **Nitrate reductase from higher plants.** In: **Methods in Enzymology**, v. 17, p. 491-503, 1971.

HAJIBOLAND, R. et al. Efeito da suplementação de silício no crescimento e metabolismo de plantas de morango em três estágios de desenvolvimento. **J. Crop Hort. Sci.** v. 46, p. 144-161, 2018.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils. 2. ed. Berkeley: **California Agricultural Experimental Station**, 1950. v. 347.

IBGE, SENSO AGROPECUÁRIO 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-agropecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=resultados/Acesso> em: 07/05/2019.

KORNDÖRFER, G. H. **Uso do silício na agricultura.** Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 117, p. 9-11, 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: **GPSi-ICIAG-UFU**. Boletim técnico v. 2, p.34, 2004.

LICHTENTHALER, H.K. **Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes.** In: PACKER, L.; DOUCE, R. (Eds.). *Methods in enzymology*. Bad Honnef: Academic, v. 148, p. 350-382, 1987.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trend in Plant Science**, v.11, n.8, p.392-397, 2006.

MARODIN, J. C. et al. Tomato post-harvest durability and physicochemical quality depending on silicon sources and doses. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 361-366. 2016.

MELO, B.A.; MORAES, J.C.; CARVALHO, L.M. Resistance induction in chrysanthemum due to silicon application in the management of whitefly *Bemisia tabaci* Biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 2, p. 01-08, 2015.

MENEGALE, M.; CASTRO, G. S.A.; MANCUSO, M.A.C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v.4, n. especial, p.435-454, 2015.

NAME, M.H. et al. Desenvolvimento e comparação entre softwares destinados à avaliação do comprimento radicular. **Espacios**, v. 37, n. 4, p. 1-9, 2016.

NEU, S.; SCHALLER, J.; DUDEU, E.G. Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C:N:P stoichiometry, and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) **Scientific Reports**, v. 7, p. 40829, 2017.

POHLMANN, V. et al. Adubação foliar silicatada na cultura da rúcula. **Cultivando o Saber**, v.11, n.4, p.424-434, 2018.

POHLMANN, V.; KNIES, A.E.; LUDWIG, F. Adubação foliar silicatada na cultura do rabanete. **Cultivando o Saber**, v. 12, n. 2, p. 224-234, 2109.

RODRIGUES, A. J. O. et al. Efeito da adubação silicatada no cultivo de tomateiro sob estresse salino. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 2, p. 141-148, 2018.

RODRIGUES, F. A. et al. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas, **Informações Agronômicas**, nº134, 2011.

SÁ, F.V.S. et al. Influence of silicon in papaya plant growth. **Científica**, v.43, n.1, p.77–83, 2015.

SALA, F.C.; COSTA, C.P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 187-194. 2012.

SOUNDARARAJAN, P. et al. Influence of Silicon Supplementation on the Growth and Tolerance to High Temperature in *Salvia splendens*. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, v. 55, p. 271-279, 2014.

SOUZA FERRAZ, R.L. et al. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 735-748, 2014.

SOUZA, L.C. et al. Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 117-128, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 5ª ed. Porto Alegre, Artmed. 95p, 2012.

VATEHOVÁ, Z. et al. Interaction of silicon and cadmium in *Brassica juncea* and *Brassica napus*. **Biologia**, São Paulo, v. 67, n.3, p. 498-504, 2012.

WEATHEBURN, M.W. Phenol hypochloride reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**, Washington, v.39, p.971-974, 1967.

YOSHIDA, S.; NAVASERO, S.A.; RAMIREZ, E.A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.31, n.1, p.48-56, 1969.

## CONCLUSÕES GERAIS

O uso do silício através da fonte silicato de cálcio interfere positivamente no aumento da produção e no tempo de prateleira da alface, sendo viável sua utilização via aplicação foliar, ao contrário do que ocorreu com o uso do metassilicato de sódio, que apresentou toxidez e posterior morte das plantas.

A pulverização foliar de silicato de cálcio influenciou as variáveis bioquímicas teor de amônio livre e nitrato.

Em relação a perda de massa nos dois períodos de aplicação foliar, observamos que a segunda aplicação que foi feita aos 27 DAT houve uma maior perda de massa pós-colheita na dose  $2 \text{ mg L}^{-1}$  quando comparada a aplicação aos 20 DAT, havendo a necessidade de aplicação por um período de tempo maior para que tenha efeito do Si.