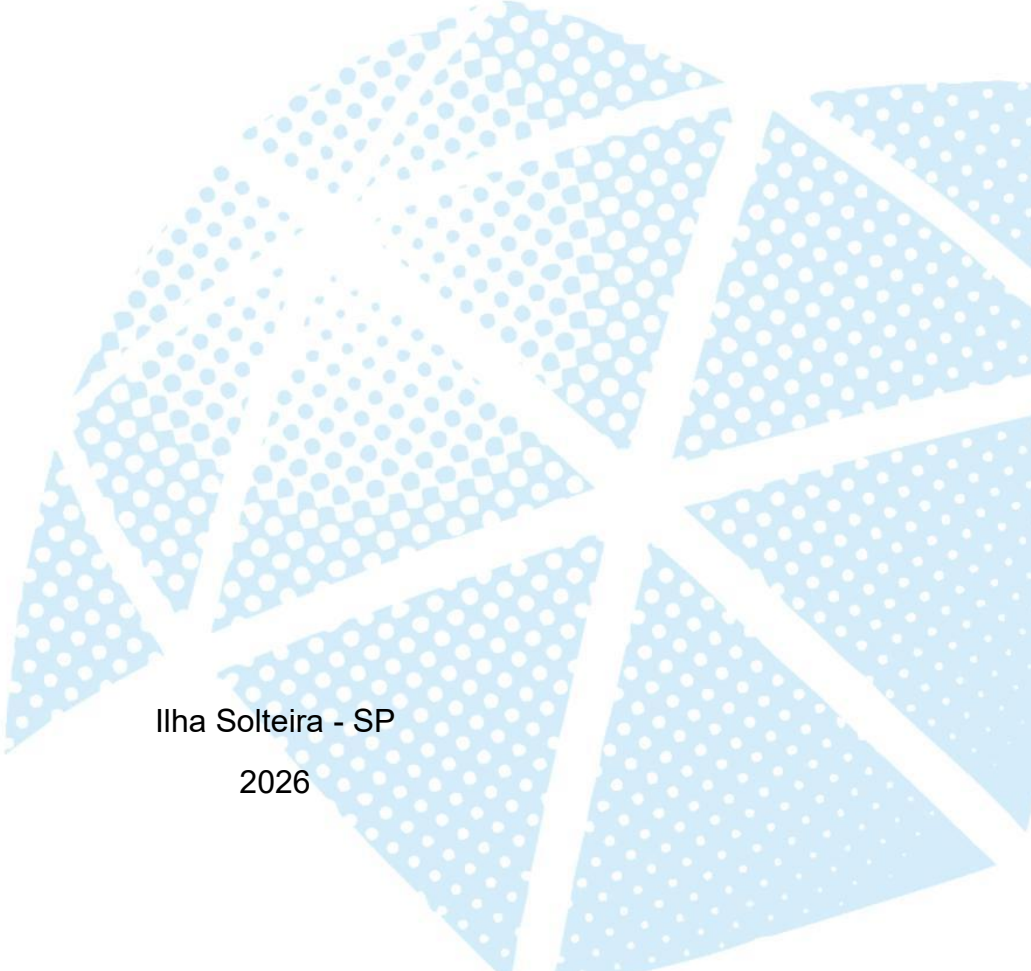
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

GABRIELE FERREIRA CAMPOS

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO EM CULTIVARES DE ALFACE CULTIVADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO



Ilha Solteira - SP

2026

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GABRIELE FERREIRA CAMPOS

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO EM CULTIVARES DE ALFACE CULTIVADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO

Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestra em Agronomia

Área de Concentração: Sistemas de Produção

Orientador: Prof. Dr. Samuel Ferrari

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Ilha Solteira - SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C198e

Campos, Gabriele Ferreira.
Efeitos da aplicação de silício em cultivares de alface cultivadas em sistema hidropônico / Gabriele Ferreira Campos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
54 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agronômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de produção, 2026

Orientador: Samuel Ferrari
Coorientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Inclui bibliografia

1. Hidroponia . 2. Dióxido de silício. 3. Lactuca sativa L.. 4. Estresse abiótico.

Sandra Montibeller - CRB-8/060/2025

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A pesquisa poderá contribuir para o aprimoramento do manejo da alface hidropônica, ampliando o conhecimento sobre o uso do silício via foliar e sua resposta em diferentes cultivares e condições de cultivo, especialmente sob temperaturas elevadas, favorecendo a compreensão de sua utilização em regiões de clima quente.

POTENCIAL MPACT OF THIS RESEARCH

This research could contribute to improving the management of hydroponic lettuce, expanding knowledge about the use of foliar silicon and its response in different cultivars and growing conditions, especially under high temperatures, thus facilitating an understanding of its use in warm climate regions.

ANEXO I

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Durante a elaboração deste trabalho, o(a)(s) autor(a)(es) utilizou(aram) as seguintes(s) ferramenta(s)/serviço(s) de Inteligência Artificial:

ChatGPT – Versão: 6
• Finalidade: Aprimoramento da escrita acadêmica e da coerência textual.
• Contribuição: A ferramenta de inteligência artificial foi utilizada pontualmente, quando necessário, como recurso auxiliar na reestruturação de parágrafos e na reorganização de ideias, com o objetivo de aprimorar a clareza, a coerência e a coesão textual.

[SEGUNDA FERRAMENTA, se houver] – Versão: [VERSÃO]
• Finalidade: [DESCREVER A FINALIDADE]
• Contribuição: [ADEQUAÇÃO/IDENTIFICAÇÃO/SELEÇÃO/REVISÃO/OUTRO]

Após o uso desta(s) ferramenta(s)/serviço(s), o(a)(s) autor(a)(es) revisou(aram) e editou(aram) o conteúdo conforme necessário, assumindo total responsabilidade pelo conteúdo aqui apresentado.

O(A/s) autor(a)(es) declara(m) estar ciente das normas institucionais sobre o uso de IA e reafirma(m) o compromisso com a integridade, honestidade e originalidade do trabalho acadêmico.

Data: 23/10/2026 Local: Ilha Solteira - SP

gov.br Documento assinado digitalmente
GABRIELE FERREIRA CAMPOS
Data: 23/10/2026 12:36:13-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Assinatura do(a) autor(a): _____

Assinatura do(a) orientador(a): _____ gov.br Documento assinado digitalmente
SAMUEL FERRARI
Data: 24/10/2026 08:53:39-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **Efeitos da aplicação de silício em cultivares de alface cultivadas em sistema hidropônico**

AUTORA: GABRIELE FERREIRA CAMPOS
ORIENTADOR: SAMUEL FERRARI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br
SAMUEL FERRARI
Data: 01/10/2026 07:36:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. SAMUEL FERRARI (Participaçao Virtual)
Departamento de Producão Vegetal / UNESP / Câmpus de Dracena - FCAT

Documento assinado digitalmente
gov.br
ENES FURLANI JUNIOR
Data: 02/10/2026 11:53:58-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. ENES FURLANI JUNIOR (Participaçao Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / UNESP / Câmpus de Ilha Solteira - FEIS

Documento assinado digitalmente
gov.br
LEANDRO JOSE GRAVA DE GODOY
Data: 02/10/2026 10:12:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. LEANDRO JOSÉ GRAVA DE GODOY (Participaçao Virtual)
Departamento de Agronomia e Recursos Naturais / UNESP / Câmpus de Registro - FCAVR

Ilha Solteira, 30 de setembro de 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador e coorientador por toda ajuda, ensinamentos e correções durante todo o desenvolvimento da pesquisa de mestrado. Agradeço também a todos os alunos que me ajudaram nas avaliações e correções diárias realizadas na hidroponia.

Agradeço à toda a minha família que vem me apoiando desde a graduação.

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

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças folhosas mais consumidas no Brasil, e o cultivo hidropônico tem se destacado como alternativa de produção. O silício (Si) é considerado um elemento benéfico às plantas, podendo contribuir para a tolerância a estresses abióticos, especialmente sob temperaturas elevadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação foliar de silício (1 g L^{-1} de SiO_2) em três grupos de alface em sistema hidropônico NFT, sob ambiente protegido com tela de sombreamento de 35%. O experimento foi conduzido no outono (maio/junho) e na primavera (novembro/dezembro) de 2025, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×2, com seis repetições, utilizando plantas dos grupos Americana, Crespa e Lisa, com e sem aplicação foliar de silício. Foram avaliadas características de crescimento, produção, teor de clorofila, número de folhas comerciais, além da concentração e acúmulo de macronutrientes e silício nas folhas. Na primeira época, caracterizada por temperaturas mais amenas, a aplicação de silício apresentou poucas respostas positivas, e as plantas do grupo Americana se destacaram pela maior produção de massa fresca da parte aérea, atingindo 332,76 g $planta^{-1}$, superior em mais de 80 g as plantas dos grupos Crespa e Lisa. Na segunda época, sob temperaturas mais elevadas, o silício proporcionou incremento de 23,43 g na massa fresca da parte aérea obtida na segunda avaliação e aumento da massa seca de raízes de 6,22 para 7,04 g $planta^{-1}$. A aplicação de silício não alterou as medidas indiretas de clorofila, enquanto os grupos apresentaram diferenças quanto às características avaliadas, com destaque para o grupo Americana em produção de biomassa e para o grupo Lisa em número de folhas comerciais. Os resultados indicam que a resposta à aplicação foliar de silício foi dependente da época de cultivo e da variável analisada, com respostas mais expressivas sob condições de temperaturas elevadas. As plantas do grupo Americana apresentaram melhor desempenho no cultivo de outono, enquanto as plantas dos grupos Crespa e Lisa apresentaram maior desenvolvimento no cultivo de primavera.

Palavras-chave: hidroponia; dióxido de silício; *Lactuca sativa* L.; estresse abiótico.

ABSTRACT

Lettuce (Lactuca sativa L.) is one of the most consumed leafy vegetables in Brazil, and hydroponic cultivation has stood out as a production alternative. Silicon (Si) is considered a beneficial element for plants, and can contribute to tolerance to abiotic stresses, especially under high temperatures. The objective of this work was to evaluate the foliar application of silicon (1 g L^{-1} of SiO_2) in three lettuce groups in an NFT hydroponic system, under a protected environment with 35% shade netting. The experiment was conducted in the autumn (May/June) and spring (November/December) of 2025, in a completely randomized design, in a 3×2 factorial scheme, with six replications, using plants from the American, Curly, and Smooth groups, with and without foliar application of silicon. Growth characteristics, production, chlorophyll content, number of marketable leaves, as well as the concentration and accumulation of macronutrients and silicon in the leaves were evaluated. In the first season, characterized by milder temperatures, the application of silicon showed few positive responses, and the plants of the Americana group stood out for the highest production of fresh shoot mass, reaching 332.76 g $plant^{-1}$, more than 80 g higher than the plants of the Crespa and Lisa groups. In the second season, under higher temperatures, silicon provided an increase of 23.43 g in the fresh shoot mass obtained in the second evaluation and an increase in root dry mass from 6.22 to 7.04 g $plant^{-1}$. The application of silicon did not alter the indirect chlorophyll measurements, while the groups showed differences in the evaluated characteristics, with the Americana group standing out in biomass production and the Lisa group in the number of marketable leaves. The results indicate that the response to foliar application of silicon was dependent on the growing season and the variable analyzed, with more significant responses under high temperature conditions. Plants from the Americana group performed better in autumn cultivation, while plants from the Crespa and Lisa groups showed greater development in spring cultivation.

Keywords: hydroponics; silicon dioxide; *Lactuca sativa* L.; abiotic stress.

Lista de figuras

Figura 1 – Temperaturas máxima e mínima da primeira época de cultivo. 19

Figura 2 – Temperaturas máxima e mínima da segunda época de cultivo. 20

Figura 3 – Local de realização do experimento. 21

Figura 4 – Disposição dos grupos de alface nas bancadas. 22

Figura 5 – Clorofilômetro utilizado. 24

Figura 6 – Bancadas aos 19 DAT. 24

Lista de tabelas

Tabela 1 – Valores de p e teste de comparação de médias para medida indireta de clorofila A, B e total dos grupos de alface em função da aplicação de silício nos meses de maio/junho e novembro/dezembro. Ilha Solteira-SP, 2025. 27

Tabela 2 – Valores de p e teste de comparação de médias para massa fresca de parte aérea e massa fresca de raiz da primeira avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025. 29

Tabela 3 – Valores de p e teste de comparação de médias para massa seca de parte aérea e massa seca de raiz da primeira avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025. 30

Tabela 4 – Desdobramento da interação entre uso de silício e grupos de alface para a variável massa seca de raiz da primeira avaliação de novembro/dezembro. Ilha Solteira-SP, 2025. 31

Tabela 5 – Valores de p e teste de comparação de médias para altura de plantas e comprimento de raiz da primeira avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025. 32

Tabela 6 – Desdobramento da interação entre uso de silício e grupos de alface para a variável comprimento de raiz da primeira avaliação de novembro/dezembro. Ilha Solteira-SP, 2025. 33

Tabela 7 – Valores de p e teste de comparação de médias para número de folhas da primeira avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025. 34

Tabela 8 – Valores de p e teste de comparação de médias para massa fresca de parte aérea e massa fresca de raiz da segunda avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025. 35

Tabela 9 – Desdobramento da interação entre uso de silício e grupos de alface para massa fresca de raiz da segunda avaliação de maio/junho. Ilha Solteira-SP, 2025..36

Tabela 10 – Valores de p e teste de comparação de médias para massa seca de parte aérea e massa seca de raiz da segunda avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.....37

Tabela 11 – Valores de p e teste de comparação de médias para altura de plantas e comprimento de raiz da segunda avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.....38

Tabela 12 – Valores de p e teste de comparação de médias para concentração de macronutrientes e silício de maio/junho dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.....39

Tabela 13 – Valores de p e teste de comparação de médias para concentração de macronutrientes e silício de novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.....40

Tabela 14 – Valores de p e teste de comparação de médias para acúmulo de macronutrientes e silício de maio/junho dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.....41

Tabela 15 – Valores de p e teste de comparação de médias para acúmulo de macronutrientes e silício de novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.....42

Tabela 16 – Valores de p e teste de comparação de médias para número de folhas da segunda avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025. 43

Tabela 17 – Desdobramento da interação entre uso de silício e grupos de alface para número de folhas em novembro/dezembro. Ilha Solteira-SP, 2025.....44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13
2.1 CULTIVO HIDROPÔNICO 13
2.2 CULTIVO DE ALFACE EM SISTEMA HIDROPÔNICO 15
2.3 CULTIVARES DE ALFACE 16
2.4 EFEITOS, FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO DO SILÍCIO EM ALFACE HIDROPÔNICA 17
3 MATERIAL E MÉTODOS 19
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CULTIVO 19
3.2 AVALIAÇÕES 23
3.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL 26
4 RESULTADOS 27
4.1 MEDIDA INDIRETA DE CLOROFILA 27
4.2 PRIMEIRA AVALIAÇÃO 28
4.2.1 Massa fresca da parte aérea e das raízes 28
4.2.2 Massa seca da parte aérea e das raízes 30
4.2.3 Altura de plantas e comprimento de raiz 31
4.2.4 Número de folhas 33
4.3 SEGUNDA AVALIAÇÃO 34
4.3.1 Massa fresca da parte aérea e das raízes 34
4.3.2 Massa seca da parte aérea e das raízes 36
4.3.3 Altura de plantas e comprimento de raiz 38
4.3.4 Concentração de macronutrientes e silício nas folhas 39
4.3.5 Acúmulo de macronutrientes e silício nas folhas 40
4.3.6 Número de folhas 42
5 DISCUSSÃO 45
5.1 MEDIDA INDIRETA DE CLOROFILA 45
5.3 MASSA SECA DA PARTE AÉREA E DAS RAÍZES 47
5.4 ALTURA DE PLANTAS E COMPRIMENTO DE RAIZ 48
5.5 CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E SILÍCIO 48
5.6 ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES E SILÍCIO NAS FOLHAS 50
5.7 NÚMERO DE FOLHAS COMERCIAIS 51
6 CONCLUSÃO 52
REFERÊNCIAS 53

1 INTRODUÇÃO

O estado de São Paulo consolidou-se como o maior produtor e consumidor de alface (*Lactuca sativa* L.) do Brasil, com produção estimada de 220 mil toneladas em 2025, segundo dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA), vinculado à Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Essa produção concentra-se predominantemente na região do Cinturão Verde, responsável por grande parte do abastecimento da Grande São Paulo, sendo as plantas do grupo crespa as mais cultivadas e comercializadas, seguidas pelo grupo americana (Agência SP, 2026; Minervino, 2025).

A adoção do cultivo hidropônico tem se expandido, impulsionada por diversos benefícios, como a produção contínua ao longo do ano, a antecipação da colheita e o fornecimento controlado de nutrientes conforme as exigências fisiológicas das plantas. Além disso, esse sistema contribui para a redução de pragas e doenças, diminuindo a necessidade de defensivos agrícolas (Faquin e Furlani, 1999; Gargaro et al., 2023; Palmitessa, Signore e Santamaria, 2024).

Em comparação ao cultivo convencional, o sistema hidropônico pode gerar maior rentabilidade para o produtor, uma vez que proporciona hortaliças de melhor qualidade e com valor de mercado mais elevado (A Lavoura, 2021).

Apesar das vantagens, o sistema hidropônico apresenta limitações, como o investimento inicial elevado, a necessidade de acompanhamento técnico contínuo, a dependência de energia elétrica e o risco de propagação de patógenos por meio da solução nutritiva (Faquin e Furlani, 1999; Palmitessa, Signore e Santamaria, 2024). Mesmo com essas limitações, o capital investido tende a ser recuperado em curto prazo (A Lavoura, 2021).

A alface está entre as hortaliças mais consumidas no país (Filgueira, 2003), o que justifica a ampliação de sua produção por meio da hidroponia. Esse método agrega valor ao produto (Costa e Junqueira, 2000) e possibilita a antecipação da colheita devido ao controle das condições climáticas no ambiente de cultivo (Bliska Jr. e Honório, 1995; Palmitessa, Signore e Santamaria, 2024).

O método de Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes, em inglês Nutrient Film Technique (NFT), é um dos sistemas hidropônicos mais utilizados, caracterizado pelo

fornecimento de uma fina lâmina de solução nutritiva às raízes das plantas de forma intermitente (Lorenz; Maynard, 1988; Palmitessa, Signore e Santamaria, 2024).

A formulação da solução nutritiva deve atender às exigências nutricionais específicas da espécie cultivada, garantindo o fornecimento equilibrado dos nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento (Luz, Guimarães e Korndorfer, 2006; Vought et al., 2024).

O silício (Si) desempenha um papel importante nas plantas, contribuindo para o aumento da resistência ao ataque de insetos e microrganismos patogênicos. Além disso, pode auxiliar na redução da transpiração, melhora da eficiência fotossintética e atenuação dos efeitos provocados por estresses abióticos, fortalecendo o sistema vegetal contra essas adversidades (Korndorfer et al., 2002; Souza, 2018; Yavas e Aydin, 2017; Ranjan et al., 2021; Arif et al., 2021; Mir et al., 2022). Em alface, estudos recentes demonstram que a aplicação foliar de dióxido de silício pode melhorar o desenvolvimento das plantas e contribuir para sua tolerância a condições de estresse, incluindo temperaturas elevadas, com respostas que podem variar entre cultivares (Simko, Zhao e Peng, 2025).

O fornecimento de silício via foliar pode mitigar o estresse térmico, melhorar o crescimento e produtividade da alface. Com isso, a hipótese do trabalho é de que a aplicação de silício melhora o desempenho produtivo da alface principalmente em épocas de temperaturas mais elevadas, podendo variar de acordo com a cultivar cultivada.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de silício em três cultivares de alface cultivadas em sistema hidropônico NFT em cultivo protegido com tela de sombreamento de 35% em diferentes épocas de cultivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTIVO HIDROPÔNICO

O cultivo hidropônico visa a produção de plantas sem o uso de solo, substrato e materiais orgânicos ou inorgânicos, utilizando uma solução nutritiva à base de água para fornecer os nutrientes necessários ao crescimento das plantas (Martinez e Filho, 1997). Esse tipo de cultivo permite o plantio ao longo de todo o ano, graças à eficiente utilização de água e nutrientes e à redução do uso de defensivos agrícolas (Alberoni, 1998). Além disso, possibilita maior controle sobre o ambiente de produção, favorecendo a obtenção de alimentos com qualidade padronizada e maior valor de mercado (Resh, 2013).

A solução nutritiva é o principal meio de fornecimento de nutrientes às plantas em sistemas hidropônicos, substituindo o solo como fonte de elementos essenciais. Para que o cultivo seja eficiente, essa solução deve ser formulada de acordo com as necessidades nutricionais específicas da cultura, estádio de desenvolvimento, condições ambientais e deve conter macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre, boro e molibdênio) em concentrações adequadas (Furlani, 1998; Resh, 2013; Luz, Guimarães e Korndorfer, 2006).

Quando as plantas estão nos primeiros estádios de desenvolvimento, a solução nutritiva está menos concentrada, conforme o desenvolvimento da planta, a concentração da solução aumenta (Resh, 2013). O desequilíbrio nutricional pode comprometer o desenvolvimento da planta, afetando diretamente a produtividade e a qualidade do produto final. Nutrientes em excesso ou em deficiência podem resultar em sintomas visíveis como cloroses, necroses, deformações foliares, além de diminuir a vida útil de pós-colheita (Furlani e Faquin, 2005).

Não há uma solução nutritiva ideal, com isso, novos estudos estão sendo feitos para se descobrir novas formulações. No Brasil, uma das soluções nutritivas mais utilizadas é a proposta por Furlani (1998). O silício está sendo adicionado nessas formulações como complemento para melhorar sua eficácia (Luz *et al*, 2006).

O controle do pH e da condutividade elétrica (CE) é fundamental e deve ser realizado constantemente, a fim de evitar deficiências ou toxidez nutricional, visto que esses fatores influenciam na disponibilidade dos nutrientes e na absorção pelas

raízes. Para a alface, o recomendado é que o pH esteja entre 5,5 e 6,5 e a CE entre 1,2 e 1,8 dS m^{-1} (Furlani, 1998; Luz *et al*., 2006; Furlani e Faquin, 2005).

Entre as principais vantagens da hidroponia, destacam-se:

- **Otimização do uso da água:** pode utilizar até 90% menos água em comparação ao cultivo convencional, devido à recirculação da solução nutritiva (Massa *et al*., 2011).
- **Redução de problemas fitossanitários:** elimina pragas e doenças típicas do solo, como nematoides e patógenos radiculares.
- **Maior produtividade e qualidade:** plantas crescem em condições ideais, resultando em folhas mais macias, coloração intensa e melhor conservação pós-colheita.
- **Produção contínua:** possibilita colheitas ao longo de todo o ano, independentemente das variações climáticas.

Apesar das inúmeras vantagens, a hidroponia apresenta desafios. Entre eles, destacam-se o alto investimento inicial, a necessidade de capacitação técnica para monitorar e ajustar parâmetros de cultivo e a dependência de energia elétrica para o funcionamento das bombas e sistemas de irrigação (Resh, 2013; Silva *et al*., 2020). Ainda assim, estudos mostram que, quando bem manejado, o sistema proporciona retorno econômico em curto prazo, devido à alta produtividade e à qualidade superior do produto (A Lavoura, 2021).

O método de Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT, na sigla em inglês) é um dos mais conhecidos sistemas de cultivo hidropônico. Nesse método, uma lâmina de solução nutritiva é fornecida de forma intermitente às raízes das plantas, permitindo um ótimo controle dos nutrientes e da oxigenação das raízes (Lorenz e Maynard, 1988). A ausência de substrato no NFT permite maior controle das condições de cultivo e facilita o manejo nutricional, embora exija atenção constante para evitar falhas no fornecimento da solução (Souza *et al*., 2017).

Assim, a hidroponia se consolida como uma alternativa promissora e sustentável para a produção de hortaliças, especialmente em regiões com limitação de terra agricultável ou disponibilidade restrita de água, atendendo às demandas por alimentos de alta qualidade e produção ambientalmente responsável (Furlani *et al*., 2003).

2.2 CULTIVO DE ALFACE EM SISTEMA HIDROPÔNICO

A procura por hortaliças vem crescendo juntamente com o aumento da população e a conscientização da necessidade de uma alimentação mais saudável. Diante desse cenário, novas técnicas de cultivo vêm sendo adotadas para garantir maior produtividade e qualidade dos alimentos, atendendo às expectativas do mercado consumidor (Ohse *et al*, 2001).

A alface é a hortaliça folhosa mais cultivada no Brasil e ocupa posição de destaque no mercado mundial. No país, é amplamente comercializada em feiras, supermercados e restaurantes, sendo consumida predominantemente in natura (Filgueira, 2003). Sua adaptação a diferentes condições de cultivo e a alta demanda pelo consumidor a tornam uma excelente candidata para a produção hidropônica (Costa e Junqueira, 2000).

Uma das principais vantagens da hidroponia para a alface é a redução do tempo de ciclo. Em cultivo convencional no solo, o ciclo varia entre 60 e 80 dias, dependendo da época do ano e da cultivar utilizada. Porém, no cultivo hidropônico, esse tempo pode ser reduzido em até 10 dias devido ao controle das condições climáticas e nutricionais (Costa e Junqueira, 2000; Luz *et al*., 2006). Esse encurtamento do ciclo permite maior número de colheitas anuais e, consequentemente, incremento na rentabilidade do sistema (Geller, 2019).

Além do menor ciclo, a hidroponia proporciona maior uniformidade no desenvolvimento das plantas, favorecendo a padronização do tamanho e da qualidade das folhas (Souza, 2018). Outro benefício é a redução do risco de contaminação por patógenos de solo, como *Fusarium oxysporum*, que podem comprometer a produção no cultivo convencional (Gomes *et al*., 2014).

A escolha da variedade ou cultivar de alface é crucial para o sucesso do cultivo hidropônico, uma vez que diferentes cultivares podem apresentar diferentes exigências nutricionais e adaptações a condições ambientais controladas (Faquin *et al*., 1996). Cultivares adaptadas ao cultivo protegido tendem a expressar melhor seu potencial produtivo, apresentando folhas mais tenras, coloração atrativa e maior durabilidade pós-colheita (Andriolo, 2004).

Outro ponto relevante é o manejo do ambiente de cultivo. Em casas de vegetação, o controle da temperatura, da umidade relativa e da radiação solar

influencia diretamente no crescimento e na qualidade das folhas. Temperaturas elevadas podem induzir o florescimento precoce e reduzir a qualidade comercial, enquanto temperaturas muito baixas retardam o crescimento (Resh, 2013).

De acordo com Furlani (1998), a alface hidropônica apresenta melhor desempenho em temperaturas entre 15 °C e 25 °C e umidade relativa do ar entre 60% e 80%. O fornecimento equilibrado de nutrientes, associado a um manejo hídrico adequado, garante maior eficiência no uso da água e maior produtividade.

Assim, o cultivo hidropônico de alface alia alta eficiência produtiva, qualidade superior e sustentabilidade, atendendo tanto às demandas do consumidor quanto às necessidades de produtores que buscam sistemas de cultivo mais rentáveis e tecnicamente avançados.

2.3 CULTIVARES DE ALFACE

A escolha adequada da cultivar de alface (*Lactuca sativa* L.) é um dos fatores determinantes para o sucesso da produção, seja em cultivo convencional, protegido ou hidropônico. As cultivares diferenciam-se quanto ao formato, textura, coloração das folhas, ciclo de desenvolvimento, exigências nutricionais e tolerância a fatores bióticos e abióticos (Filgueira, 2003; Yuri *et al*., 2002).

De forma geral, as cultivares de alface podem ser classificadas nos seguintes grupos:

- **Crespa** – Apresenta folhas soltas, recortadas e de textura macia, sendo amplamente aceita no mercado brasileiro. Possui ciclo relativamente curto e boa adaptação a diferentes condições climáticas. É bastante utilizada na hidroponia por seu rápido crescimento e alta produtividade (Oliveira et al., 2018).

- **Lisa** – Possui folhas lisas, macias e de coloração verde-clara, formando cabeças mais compactas que as cultivares crespas. É apreciada no mercado pelo sabor suave, mas demanda maior cuidado no manejo, pois é mais suscetível ao acúmulo de água nas folhas, o que pode favorecer doenças (Filgueira, 2003).

- **Americana** – Apresenta folhas espessas, crocantes e compactas, com cabeça bem formada. É bastante valorizada para saladas e consumo in natura, tendo

maior durabilidade pós-colheita. No entanto, seu ciclo é ligeiramente mais longo e pode exigir temperaturas mais amenas para expressar o máximo potencial produtivo (Resh, 2013).

No cultivo hidropônico, a adaptação da cultivar ao sistema é fundamental. Características como resistência ao pendoamento precoce, tolerância ao calor, à salinidade e a doenças foliares são especialmente importantes para ambientes protegidos e para produção durante o verão (Souza, 2018; Resh, 2013).

Vale destacar que avanços no melhoramento genético vêm proporcionando cultivares com maior resistência a patógenos, como *Bremia lactucae* (míldio), e com melhor adaptação a diferentes épocas do ano, ampliando as possibilidades de produção contínua em hidroponia (Oliveira et al., 2018). Assim, a seleção criteriosa da cultivar é um passo estratégico para otimizar a produtividade, garantir qualidade e atender às exigências do mercado consumidor.

2.4 EFEITOS, FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO DO SILÍCIO EM ALFACE HIDROPÔNICA

O silício, embora não seja considerado um elemento essencial para todas as plantas, tem demonstrado efeitos benéficos significativos no desenvolvimento vegetal, especialmente em condições de estresse. No cultivo hidropônico de alface, a aplicação de silício pode resultar em maior resistência a doenças além de promover melhorias na arquitetura da planta e no teor de matéria seca (Yavas e Aydin, 2017).

Estudos apontam que o silício atua fortalecendo as paredes celulares e estimulando a produção de compostos de defesa, o que contribui para o aumento da resistência contra patógenos e pragas (Korndorfer, Pereira e Camargo, 2002). Além disso, o Si pode reduzir o estresse abiótico, como salinidade e déficit hídrico, e melhorar a eficiência no uso da água e na fotossíntese, aspectos relevantes em sistemas hidropônicos (Souza, 2018). A suplementação com Si, portanto, representa uma estratégia promissora para elevar a qualidade e produtividade da alface hidropônica.

A sílica amorfa exerce uma ação catalítica que afeta diretamente os processos de respiração e transpiração das plantas, além de alterar a composição química, as características visuais e o sabor dos produtos, promovendo maior firmeza, espessamento foliar, coloração mais intensa e aumento da massa fresca. Esse

impacto resulta em benefícios significativos, tanto em termos de ganhos de produção, qualidade pós-colheita das hortaliças e maior aceitação no mercado consumidor (Galati *et al*., 2015; Yavas e Aydin, 2017).

A suplementação com silício representa uma estratégia promissora para elevar tanto a produtividade quanto a qualidade da alface hidropônica, sendo considerada uma ferramenta agronômica relevante em sistemas controlados de cultivo (Albalasmeh et al., 2025).

A aplicação de silício em sistemas hidropônicos pode ser realizada de diversas maneiras, sendo uma das mais comuns a adição do elemento diretamente à solução nutritiva. As fontes de silício mais utilizadas incluem o silicato de potássio (K_2SiO_3), silicato de sódio (Na_2SiO_3) e silício estabilizado com ácido salicílico. Essas formas solúveis são absorvidas eficientemente pelas raízes das plantas e se acumulam principalmente nas folhas, proporcionando benefícios significativos para o desenvolvimento vegetal (Faquin *et al.*, 2008).

Outra possibilidade de fornecimento de silício às plantas é a aplicação foliar de dióxido de silício (SiO_2), que permite disponibilizar o elemento diretamente na superfície das folhas. Embora o SiO_2 apresente baixa solubilidade em água, estudos recentes com alface demonstram que sua aplicação foliar pode contribuir para melhorias nas características de crescimento, resistência a estresses e qualidade pós-colheita. Entretanto, as respostas variam conforme a concentração aplicada e as condições de cultivo (Simko; Zhao; Peng, 2025; Simko; Peng; Hasegawa, 2026).

A escolha da fonte é determinada pela solubilidade do composto e pela disponibilidade de silício assimilável pelas plantas, o que pode variar de acordo com o cultivo (Faquin *et* al., 2008). De acordo com Tatagiba *et al* (2024), a aplicação do silício via foliar pode ser uma alternativa eficaz, promovendo benefícios significativos para o cultivo da alface, com o aumento da biomassa e melhoria no sabor e na textura das folhas.

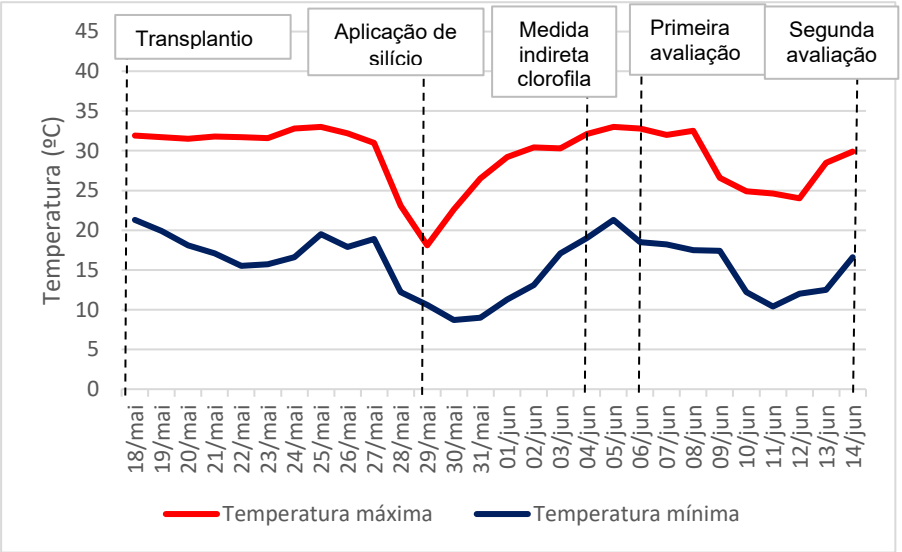
O manejo adequado do silício na hidroponia deve considerar fatores como pH, concentração iônica da solução nutritiva e frequência de aplicação, pois estes influenciam diretamente a absorção e mobilidade do elemento na planta (Meneghale *et al*., 2015; Galati *et al*., 2015

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CULTIVO

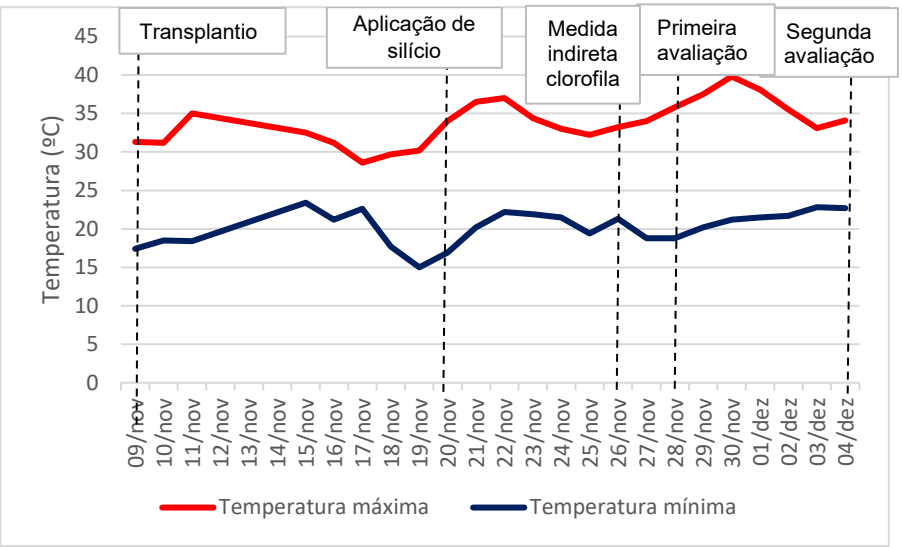
O trabalho foi desenvolvido na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, no campus de Ilha Solteira, estado de São Paulo, Brasil, situada nas coordenadas 22º 25’ 5” S e 51º 20’ 30” O, com uma altitude de 347m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é caracterizado como Aw, possuindo um clima tropical com verão chuvoso e inverno seco, com precipitação média anual de 1370mm e temperatura média anual de 23,5ºC. Os dados de temperaturas máxima e mínima (Figuras 1 e 2) foram coletados por estação meteorológica situada na cidade de Ilha Solteira, cujos dados estão disponíveis no site Canal Clima da Unesp – Ilha Solteira.

Figura 1 – Temperaturas máxima e mínima da primeira época de cultivo.



Fonte: Canal Clima da Unesp – Ilha Solteira.

Figura 2 – Temperaturas máxima e mínima da segunda época de cultivo.



Fonte: Canal Clima da Unesp – Ilha Solteira.

O projeto foi desenvolvido em duas épocas de avaliação, sendo a primeira no outono (maio e junho) e a segunda na primavera (novembro e dezembro) de 2025. As bancadas de hidroponia estavam localizadas em uma área de ambiente protegido, coberto na parte superior e nas laterais com tela de sombreamento de 35%, permitindo a ventilação natural (Figura 3).

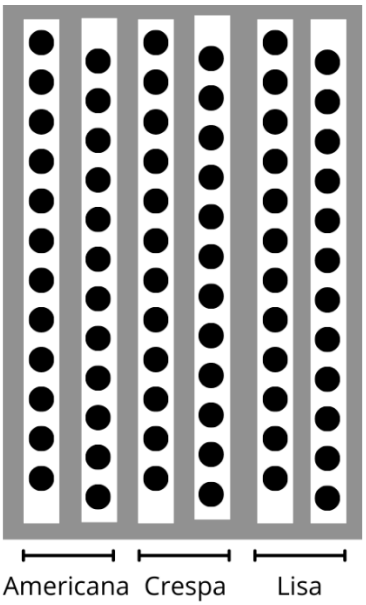
Figura 3 – Local de realização do experimento.



Fonte: Elaborado pela autora.

O sistema hidropônico utilizado foi o NFT em ambiente protegido, utilizando quatro bancadas que estavam dispostas paralelamente uma à outra, as duas primeiras bancadas não receberam o tratamento de aplicação de silício e as duas últimas bancadas receberam. Cada bancada era composta de 6 canais de cultivo de 6 metros de comprimento, 8 cm de largura, 4 cm de altura, declividade de 10% e espaçamento entre canais de cultivo de 20cm. Cada bancada continha um reservatório de solução nutritiva de 300 litros e um sistema de bombeamento individual, a vazão para cada canal de cultivo era de 1 L min^{-1} com fornecimento contínuo para as plantas. Cada canal de cultivo continha 21 perfurações para acomodar as plantas, com distância de 25 cm entre cada perfuração. Em cada bancada foi utilizado 2 canais de cultivo para cada grupo de alface, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Disposição dos grupos de alface nas bancadas.



Fonte: Elaborado pela autora.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, disposto em esquema fatorial 3x2. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três cultivares de alface com e sem adição de silício. Cada tratamento continha seis repetições, e as parcelas constituídas por 10 plantas. Para dividir as repetições, cada bancada foi dividida, de forma longitudinal, em três partes, ficando cada bancada com três repetições, foram utilizadas 2 bancadas para cada tratamento, totalizando as 6 repetições por tratamento.

Foram utilizadas três cultivares de alface, sendo elas Americana (*Lactuca sativa* cultivar Angelina), Crespa (*Lactuca sativa* cultivar Jade) e Lisa (*Lactuca sativa* cultivar Stela). As mudas foram adquiridas já desenvolvidas em um viveiro e foram transplantadas para o sistema hidropônico nos dias 18/05 (primeira época) e 09/11 (segunda época), permanecendo durante 28 e 26 dias, para primeira e segunda época respectivamente, quando atingiram o ponto de colheita.

A aplicação de silício (Si) foi realizada aos 12 dias após o transplantio (DAT) das mudas, nas datas de 29/05, na primeira época de cultivo, e 20/11, na segunda época, no final da tarde, aproximadamente às 18h. Foi utilizada a dose de 1 g de Si L^{-1}, tendo como fonte o dióxido de silício (94,6% SiO_2, empresa Solo Fértil), diluído em água proveniente da rede de abastecimento. Para o preparo da solução, foram

utilizados aproximadamente 36 g de dióxido de silício em 10 L de água. A aplicação foi realizada via foliar, utilizando-se uma bomba costal elétrica com capacidade de 15 L, sendo aplicados 45 ml da solução em cada canal de cultivo de cada bancada. Durante a aplicação, não foi necessária a utilização de barreira entre as bancadas, uma vez que não havia ocorrência de ventos e a aplicação foi realizada próxima às plantas, reduzindo a possibilidade de deriva da solução.

As medições de condutividade elétrica (CE) e pH foram feitas diariamente ao final da tarde e as devidas correções foram feitas quando necessárias. A CE inicial foi de 1,0 dS m^{-1}, sendo aumentada de acordo com o estádio de desenvolvimento da cultura, aos 13 dias (30/05 para a primeira época e 21/11 para a segunda época) foi aumentada para 1,5 dS m^{-1} e aos 20 dias (06/06 para a primeira época e 28/11 para a segunda época) foi aumentada para 1,8 dS m-1, permanecendo nesse valor até o momento da colheita. A medição da CE foi feita com o aparelho condutivímetro e a correção foi feita adicionando solução nutritiva quando os valores estavam abaixo do estipulado para cada fase de desenvolvimento. O pH foi corrigido para permanecer entre 5,8 e 6,3, quando o pH estava acima de 6,3 foi utilizado ácido sulfúrico (25%) e quando estava abaixo de 5,8 foi utilizado hidróxido de sódio (25%).

A solução nutritiva utilizada era composta por fertilizantes concentrados de Hidrogood Fert Nacional na dose de 0,666 g L^{-1}, contendo nutrientes nas seguintes concentrações: 10% de N; 9% de P; 28% de K; 4,3% de S; 3,3% de Mg; 0,06% de B; 0,01% de Cu; 0,05% de Mn; 0,07% de Mo e 0,02% de Zn. Foi utilizado também Nitrato de Cálcio na dose de 0,495 g L^{-1}, contendo nutrientes nas seguintes concentrações: 15,5% de N e 26,5% de Ca; e Hidrogood Fert Ferro EDDHA com 6% de Fe na dose de 0,020 g L^{-1}. Para corrigir as soluções das bancadas foi preparado uma solução estoque de 10 litros contendo os fertilizantes mencionados.

3.2 AVALIAÇÕES

a) Medida indireta de clorofila: Aos 18 DAT (04/06 para a primeira época e 26/11 para a segunda época) foram realizadas medições indiretas de clorofila na terceira folha recém desenvolvida das plantas de alface, utilizando o aparelho ClorofiLOG CFL 2060 - FALKER® (Figura 5).

Figura 5 – Clorofilômetro utilizado.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 6 – Bancadas aos 19 DAT.



Fonte: Elaborado pela autora.

As demais avaliações foram realizadas em três plantas de cada repetição, a primeira avaliação ocorreu aos 20 DAT (06/06 na primeira época e 28/11 para a segunda época) e a segunda avaliação ocorreu no dia da colheita das plantas (aos 28 dias para a primeira época de cultivo e aos 26 dias para a segunda época de cultivo,

14/06 para a primeira época e 04/12 para a segunda época). Para compor as amostras que foram utilizadas na primeira e segunda avaliações, foram selecionadas aleatoriamente 9 plantas de cada cultivar em cada bancada, as amostras eram compostas de 3 plantas, totalizando 3 amostras/cultivar/bancada. No total, foram avaliadas 18 plantas por cultivar por tratamento em cada época de avaliação.

b) Massa fresca da parte aérea e das raízes (g): foi quantificada utilizando-se pesagem de toda a parte aérea, e do sistema radicular, em balança digital.

c) Massa seca da parte aérea e das raízes (g): a parte aérea e o sistema radicular foram lavados e na sequência secos separadamente, em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, por 96h, e então, pesadas.

d) Altura de plantas (cm): as plantas foram medidas do nível do colo até a extremidade da última folha.

e) Comprimento de raiz (cm): as plantas foram medidas do nível do colo até a extremidade da raiz.

f) Concentração de macronutrientes e silício nas folhas (g kg^{-1}): a parte aérea que foi seca para a pesagem, foi moída (todas as folhas das 3 plantas de cada amostra) e levada para análise em laboratório quanto à concentração de macronutrientes (nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e enxofre (S)) e silício, conforme metodologia proposta por Malavolta et al (1997).

g) Acúmulo de macronutrientes e silício nas folhas (g m^2): a partir da concentração de macronutrientes e de silício, obteve-se o acúmulo a partir da seguinte fórmula:

$$Acúmulo = \frac{MSPA * Concentração}{1000}$$

Onde:

MS: Massa seca de parte aérea (g kg^{-1})

Concentração: Concentração de macronutrientes e silício (g kg^{-1})

h) Número de folhas comerciais: No momento da coleta foi realizado a contagem da quantidade de folhas, onde apenas as folhas que apresentavam tamanho

comercial foram contabilizadas, as folhas menores não foram consideradas nessa avaliação, mas foram utilizadas nas avaliações de massa fresca e seca.

i) Análise estatística: Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente ao teste de Tukey para cultivares e silício, utilizando a metodologia descrita por Banzatto e Kronka (2006) e programa SISVAR versão 5.3 (Ferreira, 2011).

3.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O ChatGPT (GPT-6), ferramenta de inteligência artificial generativa desenvolvida pela OpenAI, foi utilizado pontualmente, quando necessário, como recurso auxiliar no aprimoramento da escrita acadêmica, especialmente na reestruturação de parágrafos e na reorganização de ideias, visando melhorar a clareza, a coerência e a coesão textual. As sugestões fornecidas foram avaliadas e revisadas pela autora, que permaneceu responsável pelo conteúdo final da dissertação.

4 RESULTADOS

4.1 MEDIDA INDIRETA DE CLOROFILA

Os resultados obtidos através da medição indireta de clorofila indicaram que a aplicação de silício foliar não alterou a medida indireta de clorofila dos grupos, porém, houve diferença significativa entre os grupos, conforme Tabela 1. Na primeira época de cultivo a maior medida indireta de clorofila A, B e Total foi encontrado nas plantas do grupo Americana, na segunda época de cultivo a maior medida indireta clorofila A e Total foi encontrado nas plantas dos grupos Americana e Lisa, para a medida indireta de clorofila B apenas as plantas do grupo Americana se destacaram. Essa diferença na medida indireta de clorofila entre os grupos pode ser explicada pois cada grupo possui sua característica em relação à tonalidade de verde, o que pode ser observado na Figura 6.

Tabela 1 – Valores de p e teste de comparação de médias para medida indireta de clorofila A, B e total dos grupos de alface em função da aplicação de silício nos meses de maio/junho e novembro/dezembro. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Maio/Junho			**Novembro/Dezembro**		
Teste F	**Clorofila A**	**Clorofila B**	**Clorofila Total**	**Clorofila A**	**Clorofila B**	**Clorofila Total**
				p		
Silício (s)	0,9756	0,4470	0,7083	0,1824	0,0567	0,0974
Grupos (g)	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
s*g	0,8888	0,7116	0,9361	0,2409	0,5922	0,4182
C.V. %	13,81	22,31	14,27	10,41	19,71	11,09
				Tukey		
Com Silício	23,42	6,12	29,41	24,72	6,31	31,08
Sem Silício	23,46	6,48	29,95	23,58	5,54	29,17
D.M.S.	2,20	0,95	2,88	1,71	0,79	2,27
Americana	27,75 a	8,46 a	36,05 a	27,75 a	7,85 a	35,63 a
Crespa	18,55 c	4,56 b	23,15 c	18,27 b	3,91 c	22,25 b
Lisa	24,02 b	5,87 b	29,84 b	26,44 a	6,01 b	32,50 a
D.M.S.	3,26	1,41	4,26	2,53	1,17	3,36

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2 PRIMEIRA AVALIAÇÃO

4.2.1 Massa fresca da parte aérea e das raízes

Os resultados obtidos na primeira avaliação da primeira época para a massa fresca de parte aérea, conforme Tabela 2, mostram que não houve interação entre os fatores, porém, houve diferença significativa para a variável massa fresca de parte aérea, visto que as plantas que não receberam a aplicação de dióxido de silício apresentaram maior massa. Em relação aos grupos, o grupo Americana se destacou na produção de massa fresca, enquanto os grupos Crespa e Lisa não diferiram significativamente entre si. Enquanto que na segunda época de cultivo houve diferença significativa para o silício, as plantas que receberam a aplicação foliar do dióxido de silício tiveram uma maior massa fresca, com os grupos não diferindo entre si.

Tabela 2 – Valores de p e teste de comparação de médias para massa fresca de parte aérea e massa fresca de raiz da primeira avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Maio/Junho		Novembro/Dezembro	
Teste F	**Massa fresca de parte aérea**	**Massa fresca de raiz**	**Massa fresca de parte aérea**	**Massa fresca de raiz**
		p		
Silício (s)	0,0093*	0,2984	0,0005*	0,0001*
Grupos (g)	0,0000*	0,0061*	0,0840	0,4539
s*g	0,0963	0,4467	0,1920	0,3658
C.V. %	11,30	12,49	6,75	13,58
		Tukey		
		g planta $^{-1}$		
Com Silício	99,77 b	11,71	216,49 a	27,60 b
Sem Silício	110,80 a	12,23	198,28 b	33,90 a
D.M.S.	8,10	1,01	9,52	2,84
Americana	121,38 a	13,20 a	210,04	29,70
Crespa	101,60 b	11,45 b	212,28	30,67
Lisa	92,88 b	11,26 b	199,85	31,87
D.M.S.	11,98	1,50	14,08	4,20

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na primeira época, a variável massa fresca de raiz não apresentou interação entre os fatores avaliados e também não houve diferença estatística em relação à aplicação foliar de silício (Tabela 2). Os grupos apresentaram diferença estatística, com o grupo Americana se destacando e os grupos Crespa e Lisa não diferindo significativamente entre si. Na segunda época também não houve interação entre os fatores, mas houve diferença significativa para o silício, sendo que as plantas que não receberam aplicação de silício produziram maior massa seca de raiz e os grupos avaliados não diferiram entre si.

4.2.2 Massa seca da parte aérea e das raízes

De acordo com os resultados obtidos da avaliação de massa seca de parte aérea, apresentados na Tabela 3, na primeira época de cultivo não houve interação entre os fatores estudados, mas houve diferença significativa em relação aos grupos, onde o grupo Americana apresentou maior teor de massa seca de parte aérea em relação aos demais grupos, que não diferiram estatisticamente entre si. Na segunda época de avaliação não houve interação entre os fatores e nem diferenças estatísticas observadas para o silício e entre os grupos de plantas.

Tabela 3 – Valores de p e teste de comparação de médias para massa seca de parte aérea e massa seca de raiz da primeira avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Maio/Junho		Novembro/Dezembro	
Teste F	**Massa seca de parte aérea**	**Massa seca de raiz**	**Massa seca de parte aérea**	**Massa seca de raiz**
		p		
Silício (s)	0,9975	0,9975	0,6432	0,0005*
Grupos (g)	0,0000*	0,0000*	0,3956	0,4566
s*g	1,0000	1,0000	0,0839	0,0236*
C.V. %	8,90	8,62	48,37	17,11
		Tukey		
		g planta $^{-1}$		
Com Silício	45,82	5,25	23,57	-
Sem Silício	45,82	5,25	21,85	-
D.M.S.	2,77	0,30	7,47	0,49
Americana	54,93 a	5,96 a	19,71	-
Crespa	42,43 b	4,76 b	22,52	-
Lisa	40,10 b	5,03 b	25,90	-
D.M.S.	4,10	0,45	11,06	0,72

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável massa seca de raiz (Tabela 3), na primeira época houve diferença estatística entre os grupos, onde o grupo Americana apresentou maior massa seca e os demais grupos não diferiram entre si. Na segunda época de cultivo houve interação entre os fatores estudados, conforme a Tabela 4 de desdobramento, as plantas do grupo Americana tiveram melhores resultados quando não foram submetidas à aplicação foliar de silício, os demais grupos não apresentaram diferenças quando comparadas entre si e com o fator aplicação foliar de silício.

Tabela 4 – Desdobramento da interação entre uso de silício e grupos de alface para a variável massa seca de raiz da primeira avaliação de novembro/dezembro. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Silício	
	g planta $^{-1}$	
Grupos	**Com**	**Sem**
Americana	3,14 Ba	5,02 Aa
Crespa	4,01 Aa	4,21 Aa
Lisa	4,05 Aa	4,79 Aa

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: DMS Silício = 0,84. DMS Grupos = 1,02. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.3 Altura de plantas e comprimento de raiz

Em ambas as épocas de cultivo, não houve interação entre os fatores, porém, houve resultados significativos para a aplicação foliar do silício e para os grupos. Na primeira época, as plantas que não receberam a aplicação foliar de silício apresentaram maior altura de plantas, com destaque para o grupo Americana, seguido dos grupos Crespa e Lisa, que apresentaram diferenças estatísticas entre si, conforme apresentado na Tabela 5. Na segunda época, também houve um maior crescimento em altura das plantas que não receberam a aplicação foliar de silício, com destaque para o grupo Crespa, seguido dos grupos Americana e Lisa, que também apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Tabela 5 – Valores de p e teste de comparação de médias para altura de plantas e comprimento de raiz da primeira avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Maio/Junho		Novembro/Dezembro	
Teste F	**Altura de plantas**	**Comprimento de raiz**	**Altura de plantas**	**Comprimento de raiz**
		p		
Silício (s)	0,0394*	0,1301	0,0000*	0,0000*
Grupos (g)	0,0495*	0,0620	0,0000*	0,4671
s*g	0,4328	0,2740	0,0592	0,0129*
C.V. %	7,16	21,63	6,85	15,84
		Tukey		
		cm		
Com Silício	20,00 b	28,50	16,33 b	-
Sem Silício	21,05 a	31,88	18,88 a	-
D.M.S.	1,00	4,44	0,82	4,51
Americana	21,16 a	28,33	17,58 b	-
Crespa	20,75 ab	28,25	19,83 a	-
Lisa	19,66 b	34,00	15,41 c	-
D.M.S.	1,48	6,57	1,21	6,67

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com os resultados obtidos da avaliação da primeira época sobre o comprimento de raiz, pode-se observar que não houve interação entre os fatores nem diferenças significativas em relação à aplicação foliar do silício e entre os grupos. Já na segunda época, houve interação entre os fatores avaliados, conforme Tabela 6 de desdobramento. Analisando o fator aplicação foliar de silício, o grupo Americana não apresentou diferença significativa quanto a aplicação ou não do produto, já os grupos Crespa e Lisa apresentaram maiores médias quando não foram submetidas à aplicação. Entre os grupos, não houve diferenças entre os mesmos quando realizada a aplicação foliar de silício, quando não houve aplicação de silício, o grupo Crespa teve maior comprimento de raiz, seguido dos grupos Lisa e Americana

Tabela 6 – Desdobramento da interação entre uso de silício e grupos de alface para a variável comprimento de raiz da primeira avaliação de novembro/dezembro. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Silício	
	cm	
Grupos	**Com**	**Sem**
Americana	38,16 Aa	43,33 Ab
Crespa	32,83 Ba	54,83 Aa
Lisa	35,83 Ba	46,33 Aab

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: DMS Silício = 7,82. DMS Grupos = 9,44. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.4 Número de folhas

A partir da contagem de folhas realizada, pode-se observar que não houve interação entre os fatores, nem diferenças significativas para o tratamento em ambas as épocas, havendo diferença apenas entre os grupos. Em ambas as épocas de cultivo, o grupo Lisa apresentou maior número de folhas, seguido dos grupos Crespa e Americana, sucessivamente.

Tabela 7 – Valores de p e teste de comparação de médias para número de folhas da primeira avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Maio/Junho	Novembro/Dezembro
Teste F	**Número de folhas**	**Número de folhas**
		p
Silício (s)	0,4466	0,4382
Grupos (g)	0,0000*	0,0000*
s*g	0,1402	0,8897
C.V. %	21,34	13,12
		Tukey
Com Silício	11,44	15,88
Sem Silício	10,83	16,44
D.M.S.	1,61	1,44
Americana	8,58 c	11,83 c
Crespa	11,00 b	15,91 b
Lisa	13,83 a	20,75 a
D.M.S.	2,39	2,13

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3 SEGUNDA AVALIAÇÃO

4.3.1 Massa fresca da parte aérea e das raízes

Na avaliação realizada no último dia do ciclo da primeira e segunda épocas de cultivo, os resultados não demonstraram interação entre os fatores, mas houve diferença significativa entre os tratamentos e entre os grupos (Tabela 8). Na primeira época de cultivo, as plantas que não receberam a aplicação foliar de silício apresentaram maior teor de massa fresca do que as plantas que receberam a aplicação do produto. Quando comparados os grupos, o grupo Americana se destacou em relação aos outros grupos com uma diferença de mais de 80g, os demais grupos não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Para a segunda época de cultivo, as plantas que receberam o tratamento de silício apresentaram maior massa fresca, com uma diferença de mais de 20g em relação às plantas que não receberam o

tratamento. Já para os grupos, os grupos Americana e Crespa apresentaram as maiores médias e não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 8 – Valores de p e teste de comparação de médias para massa fresca de parte aérea e massa fresca de raiz da segunda avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Maio/Junho		Novembro/Dezembro	
Teste F	**Massa fresca de parte aérea**	**Massa fresca de raiz**	**Massa fresca de parte aérea**	**Massa fresca de raiz**
		p		
Silício (s)	0,0174*	0,1067	0,0363*	0,1333
Grupos (g)	0,0000*	0,0010	0,0000*	0,0000*
s*g	0,1868	0,0500*	0,6155	0,6996
C.V. %	9,18	18,46	7,06	13,02
		Tukey		
		g planta $^{-1}$		
Com Silício	267,48 b	-	466,40 a	43,28
Sem Silício	288,91 a	-	442,97 b	40,47
D.M.S.	17,38	3,26	21,83	3,71
Americana	332,76 a	-	478,25 a	32,71 b
Crespa	252,23 b	-	482,92 a	48,62 a
Lisa	249,60 b	-	402,88 b	44,30 a
D.M.S.	25,70	4,82	32,29	5,49

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando analisada a massa seca das raízes da primeira época de cultivo, houve interação entre os fatores avaliados, conforme tabela 9 de desdobramento. Os grupos Americana e Crespa não apresentaram diferença significativa quando foram ou não submetidas à aplicação foliar de silício. Enquanto o grupo Lisa apresentou desenvolvimento significativamente menor quando não foi submetida ao tratamento, o que acarretou em um menor desenvolvimento de raízes e consequente menor massa.

Tabela 9 – Desdobramento da interação entre uso de silício e grupos de alface para massa fresca de raiz da segunda avaliação de maio/junho. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Silício	
	g planta $^{-1}$	
Grupos	**Com**	**Sem**
Americana	28,98 Aa	32,08 Aa
Crespa	25,10 Aa	20,26 Aa
Lisa	27,76 Aa	21,53 Bb

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: DMS silício = 5,64. DMS grupos = 6,82. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3.2 Massa seca da parte aérea e das raízes

Na primeira época do experimento, não houve interação entre os fatores avaliados e também não houve diferença significativa no tratamento de silício (Tabela 10). Para os grupos houve diferença, o grupo Americana apresentou maior massa seca da parte aérea em relação aos demais grupos, com mais de 12g de diferença. Na segunda época de avaliação não houve interação entre os fatores, nem diferenças significativas entre os tratamentos e entre os grupos.

Tabela 10 – Valores de p e teste de comparação de médias para massa seca de parte aérea e massa seca de raiz da segunda avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Maio/Junho		Novembro/Dezembro	
Teste F	**Massa seca de parte aérea**	**Massa seca de raiz**	**Massa seca de parte aérea**	**Massa seca de raiz**
		p		
Silício (s)	0,9977	0,9971	0,8174	0,0019*
Grupos (g)	0,0000*	0,0000*	0,0848	0,0000*
s*g	1,0000	1,0000	0,7098	0,9091
C.V. %	8,89	8,58	28,55	10,93
		Tukey		
		g planta $^{-1}$		
Com Silício	45,82	5,25	50,32	7,04 a
Sem Silício	45,81	5,25	49,22	6,22 b
D.M.S.	2,77	0,30	9,67	0,49
Americana	54,93 a	5,96 a	49,88	5,23 b
Crespa	42,43 b	4,76 b	56,43	7,14 a
Lisa	40,09 b	5,03 b	43,00	7,53 a
D.M.S.	4,10	0,45	14,30	0,72

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a massa seca de raízes (Tabela 10), na primeira época de cultivo, houve diferença significativa apenas entre os grupos, com o grupo Americana apresentando maior massa seca em relação aos demais grupos, que não diferiram estatisticamente entre si. Já para a segunda época, houve diferenças significativas entre os tratamentos e entre os grupos. As plantas que foram submetidas ao tratamento apresentaram maior massa seca das raízes e os grupos Crespa e Lisa se destacaram e não diferiram entre si, indicando que em novembro/dezembro (segunda época de cultivo) houve um maior crescimento e desenvolvimento das raízes.

4.3.3 Altura de plantas e comprimento de raiz

Com os resultados obtidos na medição da altura das plantas (Tabela 11) pode-se observar que, na primeira e segunda épocas de cultivo, houve diferenças significativas apenas para os grupos, com o grupo Crespa apresentando maior altura, seguido dos grupos Americana e Lisa.

Tabela 11 – Valores de p e teste de comparação de médias para altura de plantas e comprimento de raiz da segunda avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Maio/Junho		Novembro/Dezembro	
Teste F	**Altura de plantas**	**Comprimento de raiz**	**Altura de plantas**	**Comprimento de raiz**
		p		
Silício (s)	0,9975	0,1972	0,5266	0,1816
Grupos (g)	0,0000*	0,2052	0,0000*	0,0880
s*g	0,4254	0,4869	0,1107	0,6275
C.V. %	5,24	17,16	6,46	26,17
		Tukey		
		cm		
Com Silício	25,61	38,27	28,38	37,22
Sem Silício	25,61	41,27	28,00	41,94
D.M.S.	0,91	4,64	1,23	7,05
Americana	26,25 b	40,33	28,66 b	35,41
Crespa	28,33 a	37,00	31,41 a	44,91
Lisa	22,25 c	42,00	24,50 c	38,41
D.M.S.	1,35	6,87	1,83	10,42

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável comprimento de raiz (Tabela 11), em ambas as épocas não houve interação entre os fatores estudados, nem diferenças significativas entre os tratamentos e os grupos.

4.3.4 Concentração de macronutrientes e silício nas folhas

Analisando os teores obtidos de macronutrientes e de silício da primeira época de cultivo (Tabela 12), pode-se observar que não houve interação entre os fatores para nenhum dos nutrientes avaliados, também não houve diferenças significativas para o tratamento de silício. Em relação ao fator grupos, observou-se efeito significativo apenas para os teores de Mg e S. Para o Mg, o grupo Lisa apresentou maiores teores do nutriente, seguido pelos grupos Americana e Crespa que não diferiram entre si. Para o S, o grupo Lisa também apresentou a maior concentração do nutriente, seguido pelos grupos Crespa e Americana que diferiram entre si.

Tabela 12 – Valores de p e teste de comparação de médias para concentração de macronutrientes e silício de maio/junho dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

Teste F	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
				p			
Silício (s)	0,2916	0,2782	0,9763	0,3463	0,8525	0,4930	0,9975
Grupos (g)	0,4678	0,1611	0,4104	0,0579	0,0126*	0,0117*	0,8869
s*g	0,8244	0,5555	0,5156	0,8662	0,8348	0,8836	0,3670
C.V. %	8,83	15,73	17,14	24,27	15,81	9,47	8,77
				Tukey			
				g planta $^{-1}$			
Com Silício	45,04	8,46	68,14	11,50	4,74	2,14	1,54
Sem Silício	43,02	9,21	67,97	12,86	4,67	2,07	1,54
D.M.S.	3,99	1,42	11,97	3,03	0,76	0,20	0,13
Americana	45,05	7,96	67,28	11,45	4,21 b	1,91 b	1,53
Crespa	42,40	8,93	73,06	10,33	4,31 b	2,08 ab	1,53
Lisa	44,65	9,61	63,83	14,76	5,60 a	2,33 a	1,56
D.M.S.	5,99	2,14	17,97	4,55	1,14	0,30	0,20

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando os teores obtidos de macronutrientes e de silício da segunda época de cultivo (Tabela 13), pode-se observar que não houve interação entre os fatores

como também não houve diferenças significativas para o tratamento de silício e entre os grupos para todos os nutrientes avaliados.

Tabela 13 – Valores de p e teste de comparação de médias para concentração de macronutrientes e silício de novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

Teste F	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
				p			
Silício (s)	0,4710	0,6895	0,6371	0,2218	0,5516	0,6888	0,6661
Grupos (g)	0,0941	0,5646	0,5693	0,1104	0,7313	0,0620	0,2912
s*g	0,0944	0,5115	0,7664	0,0543	0,3040	0,4719	0,0772
C.V. %	7,74	23,44	26,65	20,70	14,20	11,30	11,02
				Tukey			
				g planta $^{-1}$			
Com Silício	43,56	7,78	59,13	16,53	5,25	2,05	1,46
Sem Silício	42,40	7,44	55,64	14,57	5,04	2,01	1,43
D.M.S.	3,41	1,83	15,70	3,30	0,75	0,23	0,16
Americana	40,35	7,25	62,85	16,25	5,18	1,83	1,43
Crespa	44,66	7,33	53,85	13,15	4,96	2,16	1,38
Lisa	43,93	8,26	55,46	17,26	5,30	2,10	1,53
D.M.S.	5,12	2,75	23,56	4,96	1,12	0,35	0,24

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3.5 Acúmulo de macronutrientes e silício nas folhas

Analisando a Tabela 14 de acúmulo de macronutrientes e silício nas folhas da primeira época de cultivo, observa-se que não houve interação entre os fatores para nenhum dos nutrientes avaliados. Para o fator silício, houve diferença significativa apenas para o fósforo, sendo que as plantas que não receberam o tratamento apresentaram maior concentração desse nutriente quando comparadas com as que receberam. Já para os grupos, os nutrientes N, K e Si apresentaram diferença entre os grupos.

Para os três nutrientes que apresentaram diferenças, o grupo Americana foi o que se destacou apresentando maior acúmulo, seguido do grupo Crespa que

apresentou acúmulo intermediário e por fim o grupo Lisa, que apresentou menor acúmulo.

Tabela 14 – Valores de p e teste de comparação de médias para acúmulo de macronutrientes e silício de maio/junho dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

Teste F	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
				p			
Silício (s)	0,7207	0,0413*	0,3346	0,0909	0,3414	0,7513	0,2599
Grupos (g)	0,0380*	0,7742	0,0310*	0,0797	0,0735	0,6806	0,0216*
s*g	0,7062	0,8206	0,4272	0,9519	0,6773	0,6412	0,3456
C.V. %	16,76	13,72	16,69	20,29	12,64	15,09	13,19
				Tukey			
				g planta $^{-1}$			
Com Silício	1,94	0,36 b	2,90	0,48	0,19	0,09	0,06
Sem Silício	2,00	0,41 a	3,14	0,58	0,21	0,09	0,07
D.M.S.	0,33	0,05	0,51	0,11	0,02	0,01	0,009
Americana	2,29 a	0,40	3,40 a	0,57	0,21	0,09	0,0791 a
Crespa	1,85 ab	0,38	3,14 ab	0,44	0,18	0,09	0,0674 ab
Lisa	1,76 b	0,38	2,53 b	0,58	0,22	0,09	0,0621 b
D.M.S.	0,51	0,08	0,77	0,16	0,03	0,02	0,01

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 15 de acúmulo de macronutrientes e silício nas folhas da segunda época de cultivo, pode-se observar que não houve interação entre os fatores, nem diferenças significativas para o tratamento com silício para nenhum dos nutrientes avaliados. Analisando os grupos, observa-se que houve diferença apenas no S, com os grupos Crespa e Lisa apresentando maior acúmulo e não diferindo entre si, seguidos pelo grupo Americana.

Tabela 15 – Valores de p e teste de comparação de médias para acúmulo de macronutrientes e silício de novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

Teste F	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
				p			
Silício (s)	0,5819	0,6738	0,6103	0,2925	0,5253	0,5143	0,7339
Grupos (g)	0,4811	0,6045	0,1835	0,1420	0,0764	0,0053*	0,5511
s*g	0,9321	0,7148	0,9118	0,4768	0,4504	0,0514	0,1056
C.V. %	10,18	24,20	24,59	24,13	12,26	8,40	11,77
				Tukey			
				g planta $^{-1}$			
Com Silício	1,52	0,27	2,07	0,57	0,18	0,07	0,05
Sem Silício	1,48	0,26	1,95	0,51	0,17	0,07	0,05
D.M.S.	0,15	0,06	0,50	0,13	0,02	0,006	0,006
Americana	1,47	0,24	2,09	0,59	0,18	0,06 b	0,05
Crespa	1,48	0,27	2,24	0,45	0,16	0,07 a	0,04
Lisa	1,57	0,27	1,69	0,58	0,19	0,07 a	0,05
D.M.S.	0,23	0,09	0,76	0,20	0,03	0,009	0,009

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3.6 Número de folhas

A contagem de folhas realizada na primeira época de cultivo mostrou que houve diferença significativa apenas entre os grupos (Tabela 16), onde o grupo que teve maior média em relação ao número de folhas comerciais foi o grupo Lisa, seguido dos grupos Crespa e Americana, sucessivamente.

Tabela 16 – Valores de p e teste de comparação de médias para número de folhas da segunda avaliação de maio/junho e novembro/dezembro dos grupos de alface em função da aplicação de silício. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Maio/Junho	**Novembro/Dezembro**
Teste F	**Número de folhas**	**Número de folhas**
		p
Silício (s)	0,4966	0,7572
Grupos (g)	0,0000*	0,0000*
s*g	0,1002	0,0416*
C.V. %	8,6	15,07
		Tukey
Com Silício	17,05	-
Sem Silício	16,72	-
D.M.S.	0,98	2,54
Americana	13,83 c	-
Crespa	16,08 b	-
Lisa	20,75 a	-
D.M.S.	1,46	3,76

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: C.V = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Já a contagem de folhas realizada na segunda época de cultivo mostrou que houve interação entre os fatores estudados, segundo Tabela 17 de interação. Analisando o fator silício, os grupos Crespa e Lisa que foram submetidos à aplicação do produto, não apresentaram diferenças significativas entre si e tiveram desempenho melhor em relação ao grupo Americana, o mesmo resultado foi obtido quando não houve a aplicação do produto.

Quando analisado os grupos, os grupos Americana e Crespa não apresentaram diferenças em relação à aplicação ou não do produto, enquanto que o grupo Lisa apresentou maior média de folhas comerciais quando não foi submetido à aplicação foliar de silício.

Tabela 17 – Desdobramento da interação entre uso de silício e grupos de alface para número de folhas em novembro/dezembro. Ilha Solteira-SP, 2025.

	Silício	
Grupos	**Com**	**Sem**
Americana	16,33 Ab	13,66 Ab
Crespa	30,83 Aa	29,66 Aa
Lisa	26,66 Ba	31,66 Aa

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: DMS silício = 2,54. DMS grupos = 3,76. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que as respostas à aplicação foliar de silício dependeram da época de cultivo. Na primeira época de cultivo (outono) onde as temperaturas foram mais baixas, o efeito do silício nas plantas foi pouco ou inexistente. Já na segunda época de cultivo (primavera), em que as temperaturas foram mais altas, a resposta do silício aplicado pôde ser observado principalmente na variável massa fresca de parte aérea, em ambas as avaliações realizadas (primeira e segunda avaliações de cada época de cultivo). Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que o silício é um elemento benéfico e sua atuação pode ser mais evidente quando as plantas estão submetidas a condições de estresse. Em estudo recente com alface, Simko, Zhao e Peng (2025) observaram que as respostas à aplicação foliar de silício variaram de acordo com as condições ambientais e com os grupos avaliados, reforçando que a resposta ao elemento pode depender das condições de cultivo.

5.1 MEDIDA INDIRETA DE CLOROFILA

Os resultados encontrados indicaram que o silício não afetou os teores de clorofila A, B e total em ambas as épocas de cultivo, havendo diferenças apenas entre os grupos, que pode ser observado na Figura 11. Esse comportamento confirma que o silício atua principalmente na estabilidade estrutural das células e na mitigação de estresses bióticos e abióticos, não interferindo diretamente na atividade fotossintética em condições normais de cultivo (Epstein, 1999).

Além disso, a ausência de efeito significativo do silício sobre os índices SPAD pode estar relacionada ao fato de que a síntese e a estabilidade dos pigmentos fotossintéticos tendem a ser pouco influenciadas por esse elemento quando não há ocorrência de estresses severos. Resultados semelhantes foram observados por Tatagiba et al. (2024), que, ao avaliarem doses de silício em alface crespa, também não verificaram alterações nos teores de clorofila A, B e total, indicando que a resposta dos pigmentos fotossintéticos ao Si depende fortemente das condições ambientais e da intensidade do estresse sofrido pelas plantas.

As diferenças observadas entre os grupos podem estar associadas à variabilidade genética relacionada à arquitetura foliar, à espessura das folhas e à capacidade fotossintética de cada material vegetal. De acordo com Ohse et al. (2001), grupos de alface apresentam diferenças fisiológicas quanto à interceptação luminosa

e à eficiência no uso da radiação, refletindo diretamente nos valores de SPAD e na intensidade da coloração verde das folhas. Dessa forma, as diferenças verificadas entre os grupos neste estudo podem ser atribuídas principalmente às características genéticas inerentes a cada material, e não aos efeitos da aplicação de silício.

5. 2 MASSA FRESCA DA PARTE AÉREA E DAS RAÍZES

Neste experimento, as respostas do silício sobre a massa fresca foram mais expressivas na segunda época de cultivo, quando houve um aumento da temperatura, indicando que a aplicação foliar do silício pode ter contribuído para a manutenção do crescimento das plantas sob condições de maior temperatura. Esse comportamento está de acordo com estudos que demonstram que o silício pode contribuir para a tolerância das plantas a diferentes condições de estresse, uma vez que sua deposição nos tecidos vegetais pode contribuir para a manutenção do estado hídrico, redução da transpiração excessiva e aumento da resistência das plantas a condições adversas (Epstein, 1999). Em alface, Simko, Zhao e Peng (2025) verificaram que a aplicação foliar de dióxido de silício alterou parâmetros de crescimento de acordo com as condições ambientais e a cultivar avaliada.

Os resultados obtidos também sugerem que a atuação do silício pode estar relacionada à redução das perdas de água pelas plantas em períodos de maior temperatura, promovendo maior rigidez celular e manutenção do potencial hídrico. Em hortaliças cultivadas em hidroponia, o Si pode atuar reduzindo os efeitos negativos do estresse térmico e salino por meio da formação de uma camada de sílica abaixo da cutícula, diminuindo a transpiração excessiva e favorecendo o equilíbrio hídrico das plantas (Paulus et al., 2010).

O melhor desempenho do grupo Americana na primeira época de cultivo (outono) pode ser explicado por sua característica genética de maior formação de cabeça e consequente maior peso do maço em épocas de clima ameno, que foi explicado por Yuri *et al.* (2002).

A massa fresca das raízes variou de acordo com a época e o período de avaliação. Trabalhos que estudaram a aplicação de silício indicam que esse elemento pode favorecer o desenvolvimento radicular por melhorar a eficiência no uso da água e aumentar a resistência estrutural dos tecidos (Epstein, 1999). Nesse contexto, o maior acúmulo de massa fresca das raízes observado pode estar relacionado aos

efeitos do silício sobre a manutenção do estado hídrico das plantas, especialmente em condições de maior demanda evaporativa.

Além disso, o aumento da massa fresca radicular pode indicar maior capacidade de absorção de água e nutrientes pela planta. De acordo com Silva et al. (2005), sistemas radiculares mais desenvolvidos em alface cultivada em hidroponia favorecem a absorção de nutrientes e contribuem para maior estabilidade fisiológica ao longo do ciclo de cultivo. Dessa forma, as variações observadas entre as épocas de avaliação podem estar associadas tanto às condições ambientais quanto às respostas fisiológicas das plantas ao desenvolvimento do sistema radicular.

5.3 MASSA SECA DA PARTE AÉREA E DAS RAÍZES

A massa seca de parte aérea variou de maneira semelhante à massa fresca, indicando que além da retenção hídrica, também houve aumento de biomassa. Esse resultado sugere que as plantas foram capazes de converter os fotoassimilados produzidos pela fotossíntese em matéria vegetal, refletindo maior crescimento. Em sistemas hidropônicos, a produção de massa seca é considerada um importante indicador do crescimento vegetal, uma vez que representa o acúmulo efetivo de biomassa resultante da fotossíntese e da assimilação de nutrientes (Taiz et al., 2017).

O grupo Americana se destacou em relação aos outros grupos, corroborando com o que foi observado por Filgueira (2003), onde as plantas desse grupo possuíam maior densidade foliar.

Na segunda época de cultivo houve um incremento significativo na massa seca de raízes das plantas que foram submetidas ao tratamento de silício. Esse resultado sugere que o elemento favoreceu o desenvolvimento estrutural do sistema radicular, aumentando a deposição de compostos de parede celular e a resistência dos tecidos. Segundo Korndorfer *et al*. (2002), o silício promove o espessamento das paredes celulares e pode estimular adaptações que aumentam a tolerância das plantas a condições de estresse. Dessa forma, em um período caracterizado por temperaturas mais elevadas, como os meses de novembro e dezembro, o aumento da massa seca radicular pode ter contribuído para maior exploração da solução nutritiva e melhor manutenção da estado hídrico das plantas.

5.4 ALTURA DE PLANTAS E COMPRIMENTO DE RAIZ

A altura das plantas não sofreu influência do tratamento com silício, mas houve diferenças de acordo com o grupo. A ausência de resposta da altura das plantas ao silício pode indicar que essa variável possui maior relação com as características genéticas de cada grupo do que com a aplicação do silício. Em grupos de alface, diferenças na arquitetura da planta estão relacionadas ao padrão de crescimento característico de cada grupo varietal, sendo comum que as plantas do grupo crespa apresentem maior alongamento foliar e crescimento mais verticalizado em sistemas hidropônicos (Ohse et al., 2001).

O grupo Crespa apresentou maior altura em relação aos demais grupos. Esse comportamento pode ser explicado por Oliveira *et al*. (2018), que afirmam que o grupo Crespa possui hábito de crescimento mais ereto e rápido, com o intuito de otimizar a interceptação luminosa, quando cultivadas em sistemas hidropônicos.

O silício não apresentou efeito para o comprimento de raízes exceto na primeira avaliação de novembro, indicando que os efeitos da aplicação do silício via foliar pode variar de acordo com o grupo e com a fase fenológica que a planta se encontra no momento da aplicação (Tatagiba *et al*, 2024). Nas demais avaliações não houve efeito das aplicações e somente efeito entre os grupos, pois o silício pode ter contribuído para alterações estruturais dos tecidos radiculares, favorecendo maior acúmulo de massa seca sem necessariamente promover aumento no comprimento das raízes (Epstein, 1999).

Segundo Epstein (1999), o silício pode promover alterações na estrutura dos tecidos vegetais por meio da deposição de sílica nas paredes celulares, aumentando a resistência mecânica e contribuindo para a manutenção da integridade dos órgãos vegetais. Dessa forma, os resultados observados para comprimento de raízes são coerentes com aqueles obtidos para massa seca radicular, uma vez que o aumento da biomassa pode estar relacionado ao maior espessamento dos tecidos e não ao aumento da extensão das raízes.

5.5 CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E SILÍCIO

A partir dos resultados obtidos pode-se observar que a aplicação de silício não promoveu alterações significativas nos teores foliares de macronutrientes e silício dos grupos de alface avaliadas. Resultados semelhantes foram observados por Galati

(2015), que, ao avaliar diferentes doses de silício em alface americana cultivada em hidroponia, verificou que os benefícios proporcionados pelo elemento estiveram mais relacionados ao crescimento e à conservação pós-colheita do que a alterações expressivas nos teores de macronutrientes das plantas.

A ausência de diferenças significativas nos teores foliares de silício entre os tratamentos pode estar relacionada à baixa capacidade de acúmulo pela alface. A cultura é considerada uma espécie não acumuladora de silício tende a absorver menores quantidades de silício quando comparadas a gramíneas, reduzindo a possibilidade de alterações expressivas na concentração foliar do elemento (Epstein, 1999). Estudos recentes confirmam essa característica e demonstram que, mesmo com a aplicação foliar de SiO_2, a resposta da alface pode ocorrer principalmente em características de crescimento e tolerância, sem necessariamente resultar em grandes alterações na concentração de Si nos tecidos (Simko, Zhao e Peng, 2025; Simko, Peng e Hasegawa, 2026).

Em sistemas hidropônicos conduzidos sob condições adequadas de manejo nutricional, os efeitos do silício sobre a composição mineral podem ser menos evidentes, principalmente em espécies com baixa capacidade de acumulação do elemento e na ausência de condições severas de estresse (Epstein, 1999; Ma e Yamaji, 2015).

A diferença observada nos teores de Mg e S entre os grupos pode estar associada às características genéticas de cada grupo, visto que a eficiência de absorção e acúmulo de nutrientes varia conforme o material genético utilizado (Silva et al., 2005).

A ausência de resposta dos teores foliares de macronutrientes também pode estar relacionada ao cultivo em sistema hidropônico, no qual a disponibilidade de nutrientes é mantida próxima dos níveis adequados durante todo o ciclo. Nessas condições, a absorção mineral tende a ocorrer de forma eficiente, reduzindo a possibilidade de que elementos benéficos, como o silício, promovam alterações expressivas na composição nutricional das plantas. Segundo Taiz et al. (2017), quando não há limitações nutricionais, diferenças na concentração de nutrientes estão frequentemente associadas às características fisiológicas e genéticas dos genótipos avaliados.

Além disso, Ma e Yamaji (2015) destacam que espécies consideradas não acumuladoras apresentam menor eficiência na absorção e no transporte de silício, o que pode limitar alterações na concentração foliar do elemento mesmo quando este é fornecido às plantas. Dessa forma, os resultados obtidos reforçam que os benefícios do silício para a cultura da alface podem estar mais relacionados à tolerância a estresses ambientais do que a modificações na composição mineral dos tecidos.

5.6 ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES E SILÍCIO NAS FOLHAS

De maneira geral, a aplicação foliar de silício teve pouca influência sobre o acúmulo de macronutrientes pelas plantas, não promovendo alterações expressivas no crescimento das plantas ou na capacidade de extração de nutrientes, indicando resposta limitada da cultura ao elemento nas condições em que o experimento foi conduzido, comportamento semelhante foi observado por Tatagiba et al. (2024) em alface cultivada sob aplicação de silício.

Na primeira época de cultivo, as diferenças observadas entre os grupos demonstram que os diferentes grupos apresentaram comportamentos distintos quanto à capacidade de extração e de acúmulo de nutrientes mesmo sob as mesmas condições de cultivo, evidenciando a influência das características genéticas (Taiz et al., 2017).

O grupo Americana apresentou maiores acúmulos de N, K e Si, esse comportamento pode estar relacionado à maior eficiência fisiológica desse grupo, visto que o acúmulo de nutrientes está relacionado ao crescimento vegetal e à produção de matéria seca (Malavolta, 2006; Taiz et al., 2017).

Na segunda época de cultivo, houve diferença significativa apenas para o S entre os grupos, reforçando a hipótese de que os efeitos do Si estão mais relacionados à atenuação de danos causados por estresses bióticos e abióticos do que na melhoria nutricional das plantas (Epstein, 1999; Tatagiba et al., 2024).

Embora a aplicação de silício não tenha promovido alterações expressivas no acúmulo de nutrientes, os resultados demonstram que as diferenças entre grupos influenciaram diretamente a quantidade total de nutrientes acumulada nas folhas. Segundo Malavolta (2006), o acúmulo de nutrientes é determinado não apenas pela concentração dos elementos nos tecidos, mas também pela quantidade de matéria seca produzida pela planta. Dessa forma, grupos com maior crescimento e produção

de biomassa tendem a apresentar maior extração e acúmulo de nutrientes ao longo do ciclo de cultivo.

5.7 NÚMERO DE FOLHAS COMERCIAIS

O número de folhas comerciais variou significativamente entre os grupos, com o grupo Americana apresentando menor número de folhas em ambas as épocas de avaliação, e o grupo Lisa em ambas as épocas apresentou o maior número de folhas. O grupo Crespa variou, hora não diferia significativamente do grupo Americana, hora não diferia do grupo Lisa. A diferença do número de folhas dos grupos Crespa e Lisa para o grupo Americana indica melhor adaptação desses grupos (que possuem folhas soltas) ao sistema hidropônico NFT em períodos mais quentes, como observado por Souza et al. (2017).

O menor número de folhas observado no grupo Americana não indica necessariamente menor desempenho produtivo, uma vez que esse grupo apresentou maior massa fresca em ambas as épocas de cultivo. Esse comportamento é característico das alfaces do grupo americana, que apresentam folhas mais espessas, maior compactação da cabeça e maior acúmulo de biomassa por folha quando comparadas com as alfaces dos grupos de folhas soltas (Filgueira, 2003).

Os grupos Lisa e Crespa, por sua vez, apresentaram maior número de folhas comerciais devido ao seu padrão de crescimento caracterizado pela emissão contínua de folhas e pela formação de plantas menos compactas.

6 CONCLUSÃO

A aplicação foliar de 1 g L^{-1} silício aos 12 dias após transplantio das mudas apresentou respostas distintas entre as épocas de cultivo. Na primeira época de cultivo, a aplicação foliar de silício reduziu a massa fresca da parte aérea nas duas avaliações e o acúmulo de fósforo nas folhas, não sendo recomendada sua aplicação nas condições avaliadas. Na segunda época de cultivo, por outro lado, a aplicação promoveu aumento da massa fresca da parte aérea nas duas avaliações, indicando maior potencial de utilização do silício nessa época de cultivo. Entretanto, não foram observados benefícios consistentes para as demais variáveis avaliadas, especialmente para o acúmulo de nutrientes.

As plantas do grupo Americana tiveram melhor desempenho na primeira época de cultivo, enquanto que na segunda, as plantas dos grupos Crespa e Lisa tiveram um melhor desenvolvimento. Recomenda-se que, em épocas de temperaturas mais amenas seja utilizado as plantas do grupo Americana e em épocas de temperaturas mais elevadas sejam utilizadas as plantas dos grupos Crespa e Lisa.

Conclui-se que, nas condições deste experimento, a aplicação foliar de silício apresenta maior potencial no cultivo hidropônico de alface durante a época mais quente, especialmente para favorecer a produção de massa fresca da parte aérea. Dessa forma, recomenda-se evitar sua aplicação no período de maio/junho e considerar seu uso em novembro/dezembro, nas condições e dose avaliadas.

REFERÊNCIAS

A LAVOURA. **Cultivo de hortaliças hidropônicas pode ser mais rentável.** *A Lavoura*, [S.l.], 29 mar. 2021. Disponível em: https://www.alavoura.com.br/materias/cultivo-de-hortalicas-hidroponicas-pode-ser-mais-rentavel/. Acesso em: 12 abr. 2025.

AGÊNCIA SP. **São Paulo é líder na produção nacional de alface.** Agência de Notícia do Governo do Estado de São Paulo. 06 jan. 2026. Disponível em: https://www.agenciasp.sp.gov.br/sao-paulo-e-lider-na-producao-nacional-de-alface/. Acesso em: 16 jan. 2026.

ALBALASMEH, A. A. et al. **Silicon extends the shelf life of hydroponically grown lettuce.** Scientific Reports, v. 15, art. 33302, 2025.

ALBERONI, G. S. **Hidroponia: uma alternativa de cultivo para o futuro.** São Paulo: Editora Globo, 1998.

ANDRIOLO, J. L. et al. **Desempenho de cultivares de alface em diferentes sistemas de cultivo hidropônico protegido.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 721-727, 2004. DOI: 10.1590/S0103-84782004000300010.

ARIF, Y. et al. **Silicon mediated abiotic stress tolerance in plants using physio-biochemical, omic approach and cross-talk with phytohormones**. Plant Physiology and Biochemistry, v. 166, p. 278–289, 2021.

BLISKA JUNIOR A; HONÓRIO SL. **Cartilha tecnológica de hidroponia**. Campinas: UNICAMP. 24p. 1995.

COSTA, J. S., e Junqueira, A. M. R. **Diagnóstico do cultivo hidropônico de hortaliças na região do Distrito Federal.** *Horticultura Brasileira*, 2000, *18*(1), 49–52. https://doi.org/10.1590/S0102-05362000000100011

COSTA, L. C.; JUNQUEIRA, M. **A Hidroponia como Alternativa de Produção no Brasil.** In: Congresso Brasileiro de Hidroponia, 2000.

EPSTEIN, E. **Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641–664, 1999. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641

FAQUIN, V. et al. **Nutrição de plantas em sistemas hidropônicos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1996, Campinas. Anais. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 103-110.

FAQUIN, V.; FURLANI, P. R.; FERNANDES, F. M. **Absorção e acúmulo de silício em cultivares de arroz de terras altas.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2471–2478, 2008.

FAQUIN, V. et al. **Fontes e modos de aplicação de silício na agricultura.** In: NOVAIS, R. F. et al. (org.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. v. 6, p. 275–328.

FAQUIN V; FURLANI PR. **Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido.** Informe Agropecuário 200/201: 99-104, 1999.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 2 ed. Viçosa: UFV, 2003. 412p.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia: solução nutritiva.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1998. (Boletim Técnico, 168).

FURLANI, P. R. et al. **Hidroponia como alternativa para a produção de hortaliças.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 523-529, 2003. DOI: 10.1590/S1415-43662003000300021.

FURLANI, P. R.; FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas: soluções nutritivas.** In: FERREIRA, M. E. et al. (Org.). *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: UFLA, 2005. p. 371–387.

GALATI, V. C. *et al.* **Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana 'Lucy Brown' minimamente processada.** Tese. Santa Maria: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), 2015.

GARGARO, S. et al. **Let-Us Investigate; A Meta-Analysis of Influencing Factors on Lettuce Crop Yields within Controlled-Environment Agriculture Systems.** Plants, v. 12, n. 14, 2623, 2023.

GELLER, M. P. (ed.). **Manual de Hidroponia e Cultivo Protegido**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2019.

GOMES, R. L. et al. **Crescimento e qualidade de alface em cultivo hidropônico.** *Horticultura Brasileira*, v. 32, n. 4, p. 395-401, 2014.

HERNANDEZ, F. B. T. **Sistema de monitoramento climático - UNESP Ilha Solteira**. Blog. 2026. Disponível em: https://clima.feis.unesp.br/.

KORNDÖRFER, G. H. et al. **Silício na agricultura**. Uberlândia: UFU, 2002. 272 p. (Boletim Técnico, 1).

LORENZ, O. A.; MAYNARD, D. N**. Hydroponics: a guide to soilless gardening.** 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1988.

LORENZ, O. A.; MAYNARD D.N. **Handbook for vegetable growers**. 3. ed. New York: John Wiley Interscience Publication.

LUZ, J. M. Q., Guimarães, S. T. M. R., e Korndörfer, G. H. **Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício.** *Horticultura Brasileira*, *24*(3), 295–300, 2006. https://doi.org/10.1590/S0102-05362006000300005

LUZ, J. M. Q.; GUIMARÃES, S. T. M. R.; KORNDÖRFER, G. H. **Solução nutritiva.** In: SANTOS, R. H. S.; CASALI, V. W. D. (Org.). *Produção de hortaliças em sistemas orgânicos*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p. 241–260.

MA, J. F.; YAMAJI, N. **A cooperative system of silicon transport in plants.** Trends in Plant Science, Oxford, v. 20, n. 7, p. 435–442, 2015.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARTINEZ, L. A.; FILHO, H. F. **Cultivo hidropônico: conceitos e aplicações.** Campinas: Fundação Cargill, 1997.

MASSA, D. et al. **Efeitos do silício na produção de hortaliças.** *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 2, p. 345-352, 2011.

MELO, H. F. et al. **Silicon extends the shelf life of hydroponically grown lettuce. Scientific Reports***,* London, v. 15, p. 8459, 2025. Disponível em: Nature Scientific Reports.

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

MINERVINO, L. E. **Quais os tipos de alface existem? Conheça os mais comuns.** Globo rural, 2025. Disponível em: https://globorural.globo.com/agricultura/hortifruti/noticia/2025/05/saiba-quais-sao-os-seis-tipos-de-alface-mais-comuns-no-brasil.ghtml. Acesso em: 22 jan. 2026.

MIR, R. A. et al. **Multidimensional Role of Silicon to Activate Resilient Plant Growth and to Mitigate Abiotic Stress.** Frontiers in Plant Science, v. 13, 819658, 2022.

OLIVEIRA, L. R. et al. **Desempenho de cultivares de alface em sistema hidropônico.** Revista Brasileira de Horticultura Ornamental, v. 24, n. 3, 2018.

OLIVEIRA, P. R. et al. **Efeitos do silício na qualidade de hortaliças hidropônicas.** *Revista Brasileira de Horticultura*, v. 36, n. 2, p. 220-230, 2018.

OHSE, S. *et* al. **Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia.** Scientia Agricola, Piracicaba, v.58, n. 1. p.181-185. Mar., 2001.

PALMITESSA, O. D.; SIGNORE, A.; SANTAMARIA, P. **Advancements and future perspectives in nutrient film technique hydroponic system: a comprehensive review and bibliometric analysis.** Frontiers in Plant Science, v. 15, 1504792, 2024.

PAULUS, D. et al. **Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 28, n. 1, p. 29–35, 2010.

RANJAN, A. et al. **Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture.** Plant Physiology and Biochemistry, v. 163, p. 15–25, 2021.

RESH, H. M. ***Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*.** Boca Raton: CRC Press, 2013.

SILVA, J. O. et al. **Crescimento e composição mineral da alface no sistema hidropônico por capilaridade**. *Irriga*, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 146-154, 2005.

SILVA, R. P. et al. **Avaliação da aplicação de silício em hortaliças hidropônicas.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 6, p. 380-388, 2020.

SIMKO, I.; ZHAO, R.; PENG, H. **Differential Impact of SiO_2 Foliar Application on Lettuce Response to Temperature, Salinity, and Drought Stress.** Plants, v. 14, 1845, 2025.

SIMKO, Ivan; PENG, Hui; HASEGAWA, Daniel K. **Foliar application of silicon dioxide improves lettuce growth parameters, disease resistance, post-harvest quality, and modifies mineral composition**. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, v. 26, p. 2350–2366, 2026.

SOUZA, A. M. **Hidroponia: A Cultura de Alface.** Campinas: Embrapa Hortaliças, 2018.

SOUZA, G. S. **Efeitos da aplicação de silício no crescimento e na resistência de alface cultivada em sistema hidropônico.** 85 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

SOUZA, J. Z. **Fontes e concentrações de silício foliar na produção e na qualidade da acelga e da couve.** Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2018.

SOUZA, R. C. et al. **Cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT: Manejo da solução nutritiva e avaliação de cultivares.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 35, n. 4, p. 581-587, 2017. DOI: 10.1590/S0102-053620170417.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TATAGIBA, S. D. *et al.* **Benefício da adubação silicatada no crescimento de plantas de alface.** *Scientific Electronic Archives*, *17*(5), 2024. https://doi.org/10.36560/17520241971

TATAGIBA, S. D. et al. **Doses de silício no rendimento produtivo da alface crespa.** *Agropecuária Científica no Semiárido*, Campina Grande, v. 20, n. 2, p. 37-42, 2024.

VOUGHT, K. et al. **Dynamics of micro and macronutrients in a hydroponic nutrient film technique system under lettuce cultivation.** Heliyon, v. 10, n. 11, e32316, 2024.

YAVAŞ, İ., e AYDIN, Ü. N. A. Y. **The role of silicon under biotic and abiotic stress conditions.** Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, v.4, p.2, p. 204-209, 2017.

YURI, J. E. et al. **Comportamento de cultivares de alface americana em função de épocas de plantio.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 2, p. 229-233, 2002.

YURI, J. A. et al. **Produção de alface em diferentes sistemas hidropônicos.** *Horticultura Brasileira*, v. 20, n. 1, p. 23-30, 2002.