

**CULTIVO DE ALFACE EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM
SOLUÇÃO NUTRITIVA ENRIQUECIDA COM SILÍCIO**

IVANICE DA SILVA SANTOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

**CAMPINA GRANDE - PB
AGOSTO, 2021**

CULTIVO DE ALFACE EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA ENRIQUECIDA COM SILÍCIO

IVANICE DA SILVA SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias/Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Orientador Prof. Dr. Josemir Moura Maia

**CAMPINA GRANDE - PB
AGOSTO, 2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S237c Santos, Ivanice da Silva.
Cultivo de alface em sistema hidropônico com solução nutritiva enriquecida com silício [manuscrito] / Ivanice da Silva Santos. - 2021.
126 p. : il. colorido.

Digitado.
Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2021.
"Orientação : Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Coordenação do Curso de Ciências Agrárias - CCHA."

1. Hidroponia. 2. Hortaliças. 3. Condutividade elétrica. 4. Nitrato. I. Título

21. ed. CDD 631.585

CULTIVO DE ALFACE EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA ENRIQUECIDA COM SILÍCIO

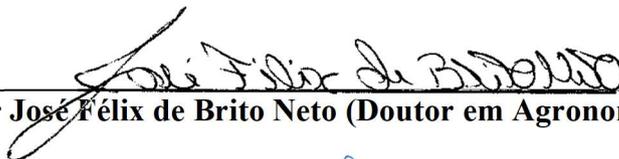
IVANICE DA SILVA SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias/Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Aprovada em 20 de Agosto de 2021



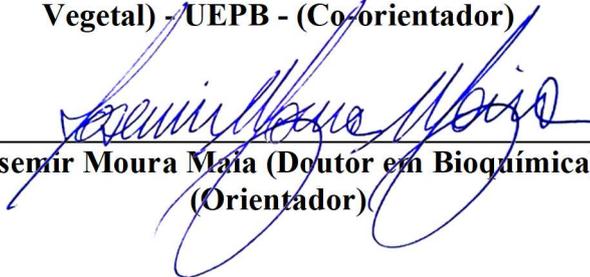
Prof. Dr Eduardo Afonso Ortega Delgado (Doutor em Fisiologia Vegetal) - UH,
Cuba



Prof. Dr José Félix de Brito Neto (Doutor em Agronomia) - UEPB



Prof. Dr Carlos Henrique Salvino Gadelha Meneses (Doutor em Biotecnologia
Vegetal) -UEPB - (Co-orientador)



Prof. Dr Josemir Moura Maia (Doutor em Bioquímica) - UEPB
(Orientador)

*À minha família, por acima de tudo me permitir a liberdade de voar e o lugar seguro para voltar. É tudo por vocês.
Gratidão*

AGRADECIMENTOS

À Deus, minha fortaleza e meu refúgio, por sempre me provar nos pequenos detalhes que nunca soltou minha mão, apesar das minhas falhas.

À minha família, pai, mãe, irmãos e sobrinhos que sempre me possibilitaram o terreno fértil de ser e seguir o que acredito.

Ao Dr. Josemir Moura Maia, pela orientação não só acadêmica mas também para a vida. Cada ensinamento, cada conversa descontraída, cada momento de paciência com as minhas limitações foram exemplos para mim do que é ser bem mais que um professor, mas ser acima de tudo, humano.

Ao LAPROV, por ter sido minha casa durante os meses de pesquisa e me possibilitar alegrias, realizações e crescimento pessoal e profissional.

À Universidade Estadual da Paraíba, campus IV por disponibilizar a estrutura e toda ajuda humana na forma de funcionários dedicados e prestativos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias por me permitir tamanho aporte de conhecimentos e vivências.

À CAPES pela concessão da bolsa durante a pesquisa.

À banca avaliadora por aceitar o convite e pelas valorosas contribuições feitas à pesquisa.

Àqueles em que pude confiar e fazer de seus abraços, conselhos, sorrisos e vivências a minha família de Catolé do Rocha. Dhayane, Bruna, Lindoberto, Renata, Carla, Mateus, Mikaelly, Suelho, Amanda, Karina, Juscelino, Paulo, Hélio foram casa, amigos, confidentes e também orientadores. Cada um contribuiu de uma forma especial para essa pesquisa, e mais que isso, se tornaram a minha base.

À StartUp Hidrotech, por ser o berço da minha pesquisa e de tantas outras que virão. Mais especificamente na pessoa do Dr. Anselmo, por estar comigo em cada etapa do estudo, me acalmando em momentos de desespero, me orientando com paciência e maestria, me fazendo ver que com dedicação, persistência e amor somos capazes de ir mais longe.

À TODOS, GRATIDÃO!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Aspectos botânicos e econômicos da alface (<i>Lactuca sativa</i> L.)	15
2.2 Viabilidade econômica e produtiva da hidroponia para a agricultura familiar do Semiárido	15
2.3 Principais problemáticas relacionadas à solução nutritiva hidropônica	18
2.4 Respostas dos vegetais ao manejo da concentração de sais na solução nutritiva	21
2.5 Efeitos do Si sob a concentração de nutrientes	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Caracterização da área de estudo	27
3.2 Instalação e condução do experimento	27
3.3 Tratamentos e delineamento experimental	30
3.3.1 1º Experimento: Avaliação do efeito do Si sob o aumento na concentração de nutrientes da solução nutritiva no cultivo hidropônico da alface	30
3.3.2 2º Experimento: Avaliação da relação Si/N na solução nutritiva em cultivo hidropônico de plantas de alface	32
3.4 Análises morfológicas	34
3.5 Análises bioquímicas	35
3.5.1 Danos de membrana (DM%)	36
3.5.2 Conteúdo relativo de água (C.R.A) e % de umidade (%U)	36
3.5.3 Concentração Na ⁺ , Ca ⁺² e K ⁺	37
3.5.4 Açúcares Solúveis Totais (AST)	37
3.5.5 Açúcares redutores (AR) e não redutores (ANR)	38
3.5.6 Aminoácidos livres totais (AALT)	38
3.5.7 Prolina (PRO)	38
3.5.8 Proteínas Totais (PT)	39
3.5.9 Quantificação de nitrato	39
3.6 Análise estatística	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Resultados	41
1º Experimento: Avaliação do efeito do Si sob o aumento na concentração de nutrientes da solução nutritiva no cultivo hidropônico da alface	41
4.2 Discussão	54
4.3 Resultados	66
2º Experimento: Avaliação da relação Si/N na solução nutritiva em cultivo hidropônico de plantas de alface	66

4.4 Discussão	84
5. CONCLUSÕES	97
REFERÊNCIAS	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sais/fertilizantes que compõem o estoque concentrado 200x da solução nutritiva de Furlani (1999) adaptado, utilizada na condução do 1° e 2° experimentos.....	31
---	----

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Cróqui da bancada experimental durante os dois experimentos. Fonte: Joseph Hakkinen (2021).....28
- Figura 2: (A) Produção de mudas de alface com substrato de fibra de coco em bandeja plástica; (B) transplântio das mudas de alface da bandeja para a fase de berçário. Fonte: Giuliane Karen de Araújo, 202029
- Figura 3: (A) Mudas de alface em sistema hidropônico na fase de berçário; (B) monitoramento da solução nutritiva durante a fase de berçário; (C) transplântio das alfaces da fase de berçário para a fase final no sistema experimental. Fonte: Mateus Sousa, 202030
- Figura 4: (A, B) Monitoramento da solução nutritiva dos tratamentos durante a fase final; (C) colheita das alfaces no sistema hidropônico experimental para posteriores análises. Fonte: Bruna Porto, 202032
- Figura 5: (A) Soluções estoque utilizadas durante o 2º experimento; (B) preparação das soluções estoques do 2º experimento; (C) monitoramento da solução nutritiva durante o 2º experimento. Fonte: Arquivo pessoal, 202033
- Figura 6: (A) Execução das análises morfológicas do 1º experimento; (B) execução das análises morfológicas do 2º experimento; (C) análise dos teores de íons em fotômetro de chama. Fonte: Bruna Porto, 202035
- Figura 7: (A) Análise de AST; (B) análise de ANR; (C) análise de AALT; (D) análise de PRO; (E) execução das análises; (F) análise de nitrato. Fonte: Renata Dantas, 202040
- Figura 8: Monitoramento diário da solução nutritiva em relação ao consumo hídrico (mL), temperatura da solução (°C) e condutividade elétrica (dSm⁻¹). (A) tratamento 1 dSm⁻¹ sem Si; (B) tratamento 1 dSm⁻¹ com Si; (C) tratamento 2 dSm⁻¹ sem Si; (D) tratamento 2 dSm⁻¹ com Si; (E) tratamento 3 dSm⁻¹ sem Si; (F) tratamento 3 dSm⁻¹ com Si42
- Figura 9: Características morfológicas das alfaces cultivadas em sistema hidropônico. (A) altura da planta (cm); (B) comprimento da raiz (cm); (C) número de folha total (planta⁻¹); (D) número de folha comercial (planta⁻¹); (E) diâmetro da cabeça (cm); (F) circunferência da cabeça. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada condutividade, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as condutividades44
- Figura 10: (A) Volume da raiz (mm³) de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico; (B) área foliar (cm²) de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de

probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada condutividade, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as condutividades.....45

Figura 11: Biomassa fresca total de plantas de alface hidropônicas. (A, B) massa fresca de folhas (g); (C, D) massa fresca de raiz (g). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade47

Figura 12: Biomassa seca total de plantas de alface hidropônicas. (A) massa seca de folha (g); (B) massa seca de raiz (g). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada condutividade, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as condutividades48

Figura 13: (A) Teores de íons Na^+ em folhas de plantas de alfaces cultivadas em sistema hidropônico; (B) teores de íons Ca^{2+} em folhas de plantas de alfaces cultivadas em sistema hidropônico; (C) teores de Na^+ em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico; (D) teores de K^+ em raízes de plantas de alfaces cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade49

Figura 14: Teores de açúcares em plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. (A) açúcares solúveis totais em folhas (AST); (B) açúcares redutores em folhas (ART); (C) açúcares não redutores em folhas (ANR); (D) açúcares não redutores em raízes (ANR). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada condutividade, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as condutividades51

Figura 15: Teores de proteínas em plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. (A) proteínas totais em folha (PT); (B) aminoácidos totais em folha (AALT); (C) proteínas totais em raiz (PT); (D) aminoácidos totais em raiz (AALT); (E) prolina em raiz (PRO). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade53

Figura 16: Teores de prolina em folha de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (PRO). (A) resposta de folhas de alface hidropônicas quanto a elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva; (B) resposta de folhas de alface hidropônicas quanto a adição de Si à solução nutritiva. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade54

Figura 17: Monitoramento diário da solução nutritiva em relação ao consumo hídrico (mL), temperatura da solução ($^{\circ}\text{C}$) e condutividade elétrica (dSm^{-1}). (A) tratamento KNO_3 0,05 sem Si; (B) tratamento KNO_3 0,05 com Si; (C) tratamento KNO_3 0,04 sem Si; (D) tratamento KNO_3 0,04 com Si; (E) tratamento KNO_3 0,03 sem Si; (F) tratamento KNO_3 0,03 com Si...67

Figura 18: Características morfológicas das alfaces cultivadas em sistema hidropônico. (A) altura da planta (cm); (B) diâmetro da cabeça (cm); (C) número de folha comercial (planta⁻¹); (D) número de folha total (planta⁻¹); (E) circunferência da cabeça (cm). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO₃ e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO₃70

Figura 19: Volume da raiz (mm³) de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO₃ e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO₃72

Figura 20: Biomassa total de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. (A) massa fresca de folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (g); (B) massa seca de folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (g). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO₃, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO₃73

Figura 21: Conteúdo relativo de água (%) em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade74

Figura 22: (A, B) Teores de K⁺ em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico; (C) teores de Na⁺ em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico; (D) teores de Na⁺ em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO₃ e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO₃76

Figura 23: Teores de açúcares em plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. (A) açúcares solúveis totais em folha de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (AST); (B) açúcares não redutores em folha de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (ANR). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO₃ e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO₃.....78

Figura 24: Teores de açúcares em plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. (A, B) açúcares redutores totais em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (ART); (C) açúcares solúveis totais em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (AST); (D) açúcares não redutores em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (ANR). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO₃ e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO₃80

Figura 25: (A) Proteínas totais em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (PT); (B) prolina total em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (PRO). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade81

Figura 26: Prolina em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (PRO). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO_3 e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO_3 82

Figura 27: Teor de nitrato em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade83

RESUMO

SANTOS, Ivanice da Silva. Msc; Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão; Agosto, 2021; Cultivo de alface em sistema hidropônico com solução nutritiva enriquecida com silício: Professor orientador Dr. Josemir Moura Maia

A hidroponia vem se apresentando como uma alternativa viável para o enfrentamento às problemáticas socioambientais do Semiárido. No entanto, suas altas concentrações nutricionais podem acarretar prejuízos ao desenvolvimento do vegetal. O silício tem sido considerado promissor no aumento da performance de nutrientes. Dessa forma, entende-se que é possível que sua adição à solução nutritiva hidropônica promova um melhor desempenho nutricional em plantas de alface. Nesse sentido, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito do silício em soluções nutritivas com baixa concentração de nitrato e diferentes condutividades elétricas, como forma de baratear o manejo dos nutrientes em cultivo hidropônico e possibilitar um menor acúmulo de nitrato na cultura da alface. Para tanto, realizou-se dois experimentos em delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas e sob esquema fatorial 3x2, onde no primeiro avaliou-se três condutividades elétricas ($1,0 \text{ dSm}^{-1}$; $2,0 \text{ dSm}^{-1}$ e $3,0 \text{ dSm}^{-1}$) e duas doses de silício (0 e 0,4 mM), e no segundo três concentrações de nitrato de potássio (0,05 M; 0,04 M e 0,03 M) e duas doses de silício (0 e 0,4 mM), em cultivo hidropônico NFT de alface crespa cv. Veneranda. Avaliou-se as características morfológicas, bioquímicas e os teores orgânicos, além do acompanhamento diário de pH, temperatura e condutividade da solução nutritiva. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F (5% de probabilidade), e aplicado o teste de comparação de médias Tukey, assim como o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, utilizando o software R[®] e Rstudio[®], pacote Library ExpDes. pt. Diante do exposto concluiu-se que o silício possibilitou um melhor aproveitamento do nitrato, mas a redução em sua concentração causou depleção em algumas variáveis analisadas. É possível ainda, reduzir a condutividade elétrica da solução nutritiva para $1,0 \text{ dSm}^{-1}$, e a utilização de silício no cultivo hidropônico da alface é aconselhável, no entanto, se faz necessários mais estudos que possam avaliar diferentes fontes de silício, bem como a aplicação foliar para a mesma finalidade do estudo.

Palavras chave: Hidroponia; Hortaliças; Condutividade elétrica; Nitrato

ABSTRACT

SANTOS, Ivanice da Silva. MSc; State University of Paraíba/Embrapa Algodão; July, 2021; Growing lettuce in a hydroponic system with a silicon-enriched nutrient solution: Professor Dr. Josemir Moura Maia

Hydroponic has been presented as a viable alternative to face the socio environmental problems of the Semiarid region. However, its high nutritional concentrations can damage the plants development. Silicon has been considered promising in increasing nutrient performance. Thus, it is understood that it is possible that its addition to the hydroponic nutrient solution promotes a better nutritional performance in lettuce plants. In this sense, this study aimed to evaluate the effect of silicon in nutrient solutions with low concentration of nitrate and different electrical conductivities, as a way to make the management of nutrients in hydroponic cultivation cheaper and enable a lower accumulation of nitrate in the lettuce crop. Therefore, two experiments were carried out in a completely randomized design, with split plots and under a 3x2 factorial scheme, where in the first one three electrical conductivities were evaluated (1.0 dSm^{-1} ; 2.0 dSm^{-1} and 3.0 dSm^{-1}) and two silicon doses (0 and 0.4 mM), and in the second three potassium nitrate concentrations (0.05 M; 0.04 M and 0.03 M) and two silicon doses (0 and 0.4 mM) in NFT hydroponic culture of crisp lettuce cv. Veneranda. Morphological and biochemical characteristics and organic contents were evaluated, in addition to daily monitoring of pH, temperature and conductivity of the nutrient solution. The results were submitted to analysis of variance by the F test (5% probability), and the Tukey mean comparison test was applied, as well as the Shapiro-Wilk normality test, using the R® and Rstudio® software, Library package Expenses pt. Given the above, it was concluded that silicon enabled a better use of nitrate, but the reduction in its concentration caused a decrease in some analyzed variables. It is also possible to reduce the electrical conductivity of the nutrient solution to 1.0 dSm^{-1} , and the use of silicon in the hydroponic cultivation of lettuce is advisable, however, further studies are needed that can evaluate different sources of silicon, as well as foliar application for the same purpose as the study.

Keywords: Hydroponics; Vegetables; Electric conductivity; Nitrate

1. INTRODUÇÃO

A salinidade do solo e da água é um dos principais fatores que afetam a produtividade das culturas agrícolas em todo o mundo (SILVA et al., 2013). Em áreas de clima árido e semiárido o problema se alastra até a composição do solo. Devido a isso, de acordo com Pedrotti et al. (2015), ocorre uma série de efeitos ambientais como a má qualidade das águas subterrâneas, por exemplo, usadas para a irrigação agrícola. As culturas sofrem então com o aumento do potencial osmótico do solo, dificultando a absorção de água e nutrientes e com a toxicidade por determinados elementos (PEDROTTI et al., 2015).

Todavia, outro grande desafio ao pequeno agricultor na região semiárida brasileira, mais especificamente, se faz em relação ao acesso à água, pois além da má qualidade da mesma, também há a problemática da distribuição deficitária (BARROS; PORDEUS, 2016). Somado a isto há ainda a deficiência tecnológica para o desenvolvimento agrário da região, de forma a possibilitar ao pequeno agricultor uma produção economicamente viável e socialmente justa. É necessário então, que haja a adoção de alternativas sustentáveis que possibilitem aos agricultores do Semiárido um maior desenvolvimento e adaptação às condições climáticas e socioambientais da região (BARROS et al., 2015).

Dentro desse viés, têm-se a hidroponia, uma técnica de cultivo em ambiente protegido, na qual o solo é substituído por uma solução nutritiva contendo todos os macros e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento da cultura (MARTINS et al., 2009). Essa prática se torna alternativa viável para o enfrentamento à problemática da água no setor produtivo do Semiárido, já que segundo Pereira et al. (2018) essa técnica resulta em menor desperdício de água e nutrientes por possibilitar o uso racional dos insumos, além de maior aplicação em regiões de temperaturas elevadas, adaptando-se ao clima.

A cultura de maior aplicabilidade ao sistema hidropônico é a alface (*Lactuca sativa* L.) de ciclo anual, originária de clima temperado, pertencente à família botânica Asteraceae e uma das hortaliças mais populares e consumidas no Brasil e no mundo (HENZ e SUINAGA, 2009). No entanto, o cultivo hidropônico dessa cultura faz frente às condições climáticas da região de cultivo, ao uso eficiente da água, além da alta susceptibilidade na absorção e acumulação de nutrientes que em excesso podem causar danos ao vegetal e ao consumidor,

como é o caso do nitrato (NO_3^-) (FERNANDES et al., 2018 ; COMETTI et al., 2019; FELIPPE & PEREIRA, 2020).

Dessa forma, de acordo com Fernandes et al. (2018) é crescente a preocupação em reduzir a concentração das soluções nutritivas em cultivo hidropônico, a fim de diminuir o teor do NO_3^- nos tecidos vegetais, o potencial de eutrofização das soluções remanescentes, e os custos de produção por meio do aumento da eficiência do uso do nutriente.

Como alternativa ao enfrentamento dessas problemáticas têm-se o silício (Si), elemento benéfico estudado e aplicado à agricultura como mitigador dos efeitos deletérios diante condições adversas aos vegetais, como a salinidade por exemplo, e atuando também quanto o acúmulo de NO_3^- nos vegetais (CÂNDIDO et al, 2020). Na hidroponia, vem sendo aplicado como um suplemento às culturas, resultando em maior produção e eficiência ao enfrentamento de estresses abióticos (LEMOS NETO et al., 2018).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo, avaliar como o Si pode melhorar crescimento e produtividade de plantas de alface cultivadas em soluções nutritivas com baixa concentração de NO_3^- e diferentes condutividades elétricas (CEs), como forma de baratear o manejo dos nutrientes em cultivo hidropônico e possibilitar um menor acúmulo de NO_3^- na cultura, melhorando a alimentação humana e reduzindo possíveis danos causados pela salinidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos botânicos e econômicos da alface (*Lactuca sativa* L.)

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa pertencente à família botânica Asteraceae, com provável origem no mediterrâneo, mas trazida para o Brasil pelos portugueses (MALDONADE, 2014). É sensível a excesso de temperatura, luminosidade e alta concentração de dióxido de carbono (CO₂). Suas folhas estão presas a um caule diminuto e possuem coloração entre vários tons de verde até o roxo. Pode ser classificada em seis grupos com base na morfologia e arranjo de suas folhas: repolhuda, repolhuda crespa, solta lisa, solta crespa, mimosa e romana. Possui ciclo curto de 45 a 60 dias, permitindo assim, que sua produção seja realizada durante todo o ano (MALDONADE, 2014).

A alface é considerada a cultura folhosa mais importante no Brasil e no mundo. Em termos mundiais, em 2013 foi produzido o total de 23 milhões de toneladas da cultivar chicória, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). No Brasil, São Paulo se caracteriza como o maior produtor (LORENZI, 2015). Segundo Echer et al. (2016), em 2006 existiam no Brasil 66.301 propriedades rurais produtoras de alface. De 2011 a 2013 foram produzidas cerca de 1,27 milhões de toneladas de alface, 90% dos produtores desenvolveram produção orgânica para aquele ano. Adicionalmente, em sistema hidropônico, a alface é a cultura mais produzida no Brasil (GUIMARÃES et al., 2017a).

2.2 Viabilidade econômica e produtiva da hidroponia para a agricultura familiar do Semiárido

Para o Semiárido brasileiro onde as condições edafoclimáticas tornam o cultivo em solo uma atividade onerosa e de altos custos, a prática da hidroponia pode ser um recurso viável na tentativa de remediar alguns desses obstáculos à produção agrícola da região. Bezerra Neto (2017) explica a hidroponia como um conjunto de técnicas aplicadas ao cultivo de plantas, sem a utilização do solo, de forma que os nutrientes minerais são fornecidos através de uma solução nutritiva balanceada para as necessidades da cultura que se deseja cultivar. O sistema mais comumente utilizado comercialmente é o NFT, do inglês *Nutrient*

Film Technique, ou simplesmente técnica do fluxo laminar de nutrientes (BEZERRA NETO, 2017). Esse sistema é do tipo fechado e por isso não gera o contato direto dos rejeitos da solução nutritiva com o meio ambiente, pois não há o descarte. No sistema fechado a solução que não é utilizada pelas plantas retorna a um reservatório por drenagem e assim, pode ser reutilizada (HUSSAIN, 2014).

Para o Semiárido essa prática se torna de extrema importância por não requerer a utilização de demasiada quantidade de água, assim como exige o cultivo convencional em solo, podendo ainda ser utilizada mesmo em pequenos espaços e em solos não agricultáveis. É ainda uma metodologia empregada dentro de casas de vegetação não havendo risco de lixiviação de fertilizantes e dessa forma, reduzindo a evaporação, o que diminui a perda de água pela planta (BEZERRA NETO e BARRETO, 2012).

A água salina, caracterizada pelas elevadas concentrações de sais solúveis, as quais levam a uma CE maior que 4 dS m^{-1} (MUNNS, GILLIHAM, 2015; FREITAS, 2018), também é um desafio aos pequenos agricultores do Semiárido, sendo o estresse salino o que mais causa danos às culturas agrícolas, afetando as várias fases do ciclo de desenvolvimento vegetal, desde a germinação até o crescimento, além da produtividade (CAPELO, 2017).

Lima et al. (2018) diz então, que a hidroponia possibilita uma maior tolerância ao estresse salino pelas culturas cultivadas, se configurando então como uma importante estratégia de convivência com o Semiárido, e sendo ainda ferramenta de grande impacto social, ao possibilitar o uso de águas de qualidade inferior, as quais em meios convencionais de cultivo não garantiriam uma boa produtividade (BIONE et al., 2014).

Bezerra Neto (2017) elencam diversas vantagens relacionadas com a prática de cultivo da hidroponia, como menor consumo de água e fertilizantes, melhor controle fitossanitário, produção fora de época, cultivo em ambiente fechado havendo a redução dos efeitos climáticos, e ainda, melhor preço de mercado e como consequência, rápido retorno do capital. Pode-se adicionar ainda a essas vantagens, a utilização de áreas antes não produtivas por não necessitarem da presença do solo e o cultivo de um alimento mais limpo, saudável e sustentável.

No Semiárido brasileiro a produção de alface se torna limitada devido sua tolerância a condições ambientais como altas temperaturas, por exemplo, o que ocasiona pendoamento, perda de folhas, produção de látex tornando a alface amarga e assim prejudicando a comercialização (SOUZA et al., 2018). Outro fator que se deve levar em consideração na

produção hidropônica dessa hortaliça na região é a sua sensibilidade à salinidade. Porém, segundo Santos et al. (2010) essa sensibilidade se apresenta de forma mais acentuada no cultivo em solo, onde a absorção de sais é proveniente da água de irrigação muitas vezes de má qualidade, conseguindo em sistema hidropônico reagir bem a níveis de salinidade por ser a absorção de água condicionada apenas ao potencial osmótico.

Cavalcante et al. (2016) trazem em seu trabalho sobre coentro hidropônico no Semiárido a perspectiva de que, cada vez mais estudos voltados a otimização dessa técnica para às condições peculiares do Semiárido estão sendo desenvolvidos, visando a adaptação da hidroponia a condições como baixo potencial de financiamento dos produtores e a menor disponibilidade de área verificada na agricultura familiar. Muito embora, técnicas de manejo para culturas específicas ainda sejam escassas, sendo relevante então o desenvolvimento de estudos nesse viés.

Segundo Andrade (2019), a adoção da técnica hidropônica para o cultivo da alface pelos agricultores familiares do Semiárido pode contribuir significativamente com a elevação da produtividade da cultura, da renda familiar e do melhor aproveitamento dos recursos hídricos da região, sendo um contraponto à literatura quando o mesmo conclui que as condições climáticas semiáridas não são um fator limitante para o cultivo da alface nesta técnica.

Sendo assim, a hidroponia precisa ser mais difundida entre os produtores da região Semiárida para que se tenha uma produção realmente expressiva de alimentos por esse método (FERNANDES et al., 2018).

2.3 Principais problemáticas relacionadas à solução nutritiva hidropônica

Na hidroponia, por não haver a presença do solo como fonte de nutrientes, os elementos essenciais são fornecidos através de uma solução nutritiva. Eles são responsáveis pela estrutura e funcionamento metabólico dos vegetais e cuja ausência pode causar anormalidades severas no crescimento, desenvolvimento ou na reprodução vegetal, podendo até mesmo impedir que a planta complete seu ciclo de vida (TAIZ et al., 2017). Estes nutrientes são divididos de acordo com sua concentração relativa nos tecidos vegetais, em macronutrientes (exigidos em maior quantidade) e micronutrientes (exigidos em menor quantidade) (COELHO et al., 2020).

De acordo com Furlani et al. (2009) são conhecidas mais de 160 formulações de soluções nutritivas utilizadas no cultivo hidropônico, no entanto, todas baseadas na composição elucidada por Hoagland e Arnon em 1950, havendo diferenças marcantes no que diz respeito aos macronutrientes, pois essa solução foi desenvolvida e balanceada para o cultivo hidropônico do tomate (*Solanum lycopersicum*). Atualmente a solução nutritiva mais utilizada no Brasil é a de Furlani (1999), na qual o autor indica, em g/1000 L os sais: Nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), Nitrato de potássio (KNO_3), Fosfato monoamônico ($(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$), Sulfato de magnésio (MgSO_4), Ácido bórico (H_3BO_3), Sulfato de manganês (MnSO_4), Sulfato de zinco (ZnSO_4), Sulfato de cobre (CuSO_4), Molibdato de sódio (Na_2MoO_4), Cloreto férrico (FeCl_3) e EDTA dissódico.

No entanto, Cometti et al. (2006) admitem que não existe uma solução nutritiva ideal para todas as culturas, pois esta varia com uma série de fatores como espécie da planta, estágio fenológico, época do ano, fatores ambientais, entre outros, muito embora seja primordial o adequado manejo da mesma, pois tanto na quantidade quanto na relação entre os nutrientes, a solução nutritiva influenciará na qualidade nutricional, morfológica e na produtividade das plantas (ALVES e FARIAS, 2019).

O manejo da solução nutritiva deve levar em consideração ainda o pH e a CE. Qualquer valor de pH acima ou abaixo de 5,8 a 6,2 podem dificultar o processo de absorção radicular, principalmente dos micronutrientes, já que dependendo do pH, alguns nutrientes podem formar complexos insolúveis (FERNANDES et al., 2018). O Ferro (Fe), o Zinco (Z), o Manganês (Mn) e o Cobre (Cu) são micronutrientes que se tornam insolúveis em pH acima de 5, por exemplo (COSTA, 2014), e abaixo desse valor o Magnésio (Mg) e o Cálcio (Ca) se

tornam indisponíveis para as plantas (SILVA et al., 2007). Além disso, uma grande variedade das soluções nutritivas não tem capacidade tampão, o que permite que o pH varie continuamente (FURLANI et al., 2009).

Quanto à CE, ela se relaciona com a concentração de sais fornecidos à solução nutritiva, e assim como o pH, precisa ser monitorada diariamente. A oscilação nos valores das CEs pode acarretar distúrbios nutricionais aos vegetais. A partir da aferição da CE é possível estimar se as plantas absorveram mais água ou nutrientes minerais, e assim, poder repor diariamente a quantidade de água ou a solução nutritiva (BEZERRA NETO e BARRETO, 2012). Furlani et al. (2009) indicaram para o cultivo da alface em sistema hidropônico CE de 1,5 a 2,5.

Ao se falar em possíveis empecilhos ao ótimo desenvolvimento da solução nutritiva hidropônica, nos deparamos com os fatores abióticos como a salinidade, por exemplo, proveniente de um elevado acúmulo de sais. Além disso, a concentração de nutrientes também é um fator que deve ser levado em consideração. Todos os nutrientes precisam ser fornecidos na solução nutritiva nas proporções necessárias de tal maneira que todos se esgotem juntos (BEZERRA NETO e BARRETO, 2012). Costa (2014) relata que o fornecimento inadequado de um nutriente pode limitar o desenvolvimento da planta, e para que estas tenham um bom desempenho são necessárias duas condições: todos os macros e micronutrientes têm de ser absorvidos em quantidades suficientes e todos os nutrientes em proporções equilibradas. Segundo Portela et al. (2012) a concentração elevada da solução nutritiva dificulta a absorção de água pelas plantas ocasionando estresse hídrico, o que afeta o crescimento e produtividade da cultura, principalmente sob condições de elevada demanda evaporativa da atmosfera, até mesmo a absorção mineral pode ser inibida.

Soares e Machado (2007) afirmam que as plantas não exigem as altas concentrações de nutrientes que normalmente são fornecidas pelas soluções nutritivas, gerando um potencial osmótico muito baixo, o que dificulta a absorção de água pelas plantas. Em contrapartida, soluções muito diluídas também proporcionam um desenvolvimento muito lento ao vegetal (BEZERRA NETO e BARRETO, 2012). Gonçalves et al. (2015) afirmam ainda, que é necessário que haja uma padronização da metodologia de cultivo para cada espécie de hortaliça cultivada, uma vez que seus fatores fisiológicos são diferentes.

Em estudo sobre a concentração de nutrientes na solução nutritiva para o cultivo hidropônico de rúcula, Guardabaxo et al. (2020) viram que a cultura respondeu de forma

positiva a solução com concentração de 67% em relação a de Furlani (1999), considerada a padrão. Os autores ainda mencionam que, sob o aspecto econômico, o ótimo desenvolvimento da cultura em condições de redução na concentração de nutrientes, implica diretamente em menor custo da produção (GUARDABAXO et al., 2020).

Da mesma forma, Sousa et al. (2020) estudaram a melhor concentração salina da solução nutritiva, porém para a cultura da alface, por meio de diferentes CEs. Ao fim do experimento os autores puderam constatar menor produtividade para a cultura em detrimento ao aumento da solução nutritiva, e determinaram que para as cultivares Bruma e Astra as melhores concentrações salinas se apresentam em $1,31 \text{ dSm}^{-1}$ e $1,03 \text{ dSm}^{-1}$, respectivamente, deixando evidente que para cada cultivar existe uma condutividade elétrica de nutrientes ideal.

Fernandes et al. (2018) determinaram que soluções nutritivas com até 55% de salinidade não comprometem o crescimento e a produção de alface americana. Em estudo de Santos et al. (2019) com manjeriço hidropônico, a solução nutritiva com 60 mM de cloreto de sódio (NaCl) só passou a comprometer o crescimento e a produção de fitomassa e de óleo essencial da cultura após 14 dias de exposição à salinidade, demonstrando que a duração do estresse salino promoveu o acúmulo de Na^+ , Cl^- e de solutos orgânicos, comprometendo assim os aspectos bioquímicos, de crescimento e de produção da mesma.

Dentre os nutrientes fornecidos em grandes quantidades e que geram maior preocupação está o NO_3^- , apontado como responsável por sérios danos à saúde humana se ingerido em grandes quantidades, principalmente na alface, considerada a hortaliça que apresenta as maiores concentrações do nutriente (LUCENA e SILVA, 2016), não havendo no Brasil legislação específica que limite teores máximos em vegetais. Porém, a União Européia através do Regulamento 1881/2006 e 1258/2011 estabelece a ingestão diária de $3,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de peso corporal dia^{-1} de NO_3^- , expresso em íon NO_3^- (ROCHA et al., 2020).

Em hortaliças cultivadas em sistemas hidropônicos, o acúmulo de NO_3^- nos vacúolos se dá devido a fatores como temperatura, espécie vegetal, manejo da solução nutritiva, sistema de cultivo, mas principalmente por disponibilidade inadequada desse nutriente. De acordo com Xavier (2011) as soluções nutritivas utilizadas em hidroponia são compostas em sua maior parte por NO_3^- na forma prontamente disponível e em condições favoráveis à absorção pelas raízes. Devido a isso, os teores desse nutriente em produtos hidropônicos são mais elevados do que em vegetais cultivados de forma convencional.

Em estudo de Silva et al. (2011) sobre a comparação entre alface cultivado em sistema convencional, orgânico e hidropônico, os autores verificaram que a alface hidropônica possui até 4,8 vezes mais NO_3^- acumulado em comparação aos outros sistemas. Segundo os autores, a solução nutritiva fornece uma quantidade desse nutriente muito acima da capacidade que a cultura tem de absorver, o que resulta em sua acumulação. Para Pôrto et al. (2012) a intensidade luminosa e a disponibilidade de nitrogênio (N) em excesso através de fertilizantes minerais, orgânicos e soluções nutritivas, são os fatores que mais exercem influência para o acúmulo de NO_3^- em folhas de vegetais.

Aprígio et al. (2012) dizem ainda que se o excesso na adubação favorece o acúmulo de íons de NO_3^- nas folhas das culturas, em contrapartida, em quantidades normais o NO_3^- passa a ser um importante íon na prevenção de doenças gastrointestinais (COMETTI e BUGBEE, 2010). Em estudos sobre o teor de NO_3^- em cultivares de alface hidropônico, Gonçalves et al. (2015) atribuíram os altos valores do nutriente registrados em seu estudo ao fertilizante nitrogenado adicionado à solução nutritiva, o qual estava sob concentração muito acima do que a planta consegue metabolizar.

2.4 Respostas dos vegetais ao manejo da concentração de sais na solução nutritiva

De acordo com Silveira et al. (2010) o estresse salino, causado por altas concentrações de sais nas raízes das plantas, apresenta duas fases distintas, que são: a fase osmótica, na qual a planta apresenta dificuldades na absorção de água, e a medida em que os sais continuam se acumulando no citosol das células, as plantas começam a desenvolver problemas de toxicidade, entrando então na fase tóxica, a qual por sua vez interfere na abertura estomática e por consequência, na absorção de CO_2 . Como resposta metabólica ao estresse salino ocorre o aumento na síntese de osmólitos compatíveis, considerados um indicador de condições de estresse (FREITAS et al., 2019), os quais auxiliam no ajustamento osmótico, protegem estruturas subcelulares e reduzem os danos oxidativos.

Segundo Araújo (2017) os osmólitos mais comuns, produzidos em condições adversas, são a prolina, os compostos quaternários de amônio como a glicina-betaína, os carboidratos solúveis e os poliálcoois. A prolina é um aminoácido essencial, pois possui atividade osmoprotetora e auxilia na manutenção da integridade celular das membranas contra os efeitos deletérios do estresse. Pesquisas demonstram que o acúmulo desse aminoácido pode

estar ligado a tolerância ao estresse pois sua concentração, em geral, é maior em plantas tolerantes (ARAÚJO et al., 2018). Sob estresse salino, induzido por excesso de sais, esse aminoácido garante a redução do potencial hídrico celular na planta, sendo então capaz de causar resistência a esse tipo de estresse abiótico (CONCEIÇÃO, 2015).

Os carboidratos também são considerados osmoprotetores de grande importância, pois tanto podem ser armazenados na forma de polissacarídeos com baixa atividade osmótica, quanto na forma de açúcares altamente solúveis, dessa forma, a sua degradação em resposta a estresses abióticos leva a geração de compostos osmoticamente ativos (SANCHES, 2012). Segundo Silva Júnior (2018) os açúcares solúveis sintetizados nas folhas podem ser utilizados para manter o metabolismo em condições de estresses abióticos, reagindo osmoticamente para a redução da disponibilidade de água nos teores de hidratos de carbono solúvel nos tecidos vegetais, e assim, contribuindo na adaptação ou no ajuste de estresse abiótico.

Em contrapartida, os teores de proteínas são reduzidos durante episódios de deficiência hídrica, pois sob estresse abiótico há um aumento na atividade de enzimas proteolíticas as quais quebram as proteínas de reserva das plantas e diminui a síntese protéica (LECHINOSKI et al., 2007). No entanto, Nascimento et al. (2015) dizem que algumas plantas podem acumular proteínas no apoplasto após a exposição a agentes estressores, como a seca e a salinidade, e a explicação para esses acontecimentos é o sequestro de íons, proteção das membranas e retenção de água, o que atua diretamente no processo de ajustamento osmótico.

Em estudos de Capelo (2017) o aumento de compostos orgânicos em manjeriço submetidos ao estresse salino sugeriu que essa hortaliça sintetiza osmólitos para o auxílio na manutenção do equilíbrio osmótico das células em condições salinas. Para Silva et al. (2018) a alface é considerada sensível à salinidade, onde em seu trabalho houve uma redução linear do teor relativo de água das folhas de alface submetidas a estresse salino. No entanto, Freitas et al. (2019) traz informações de que essa sensibilidade se expressa quando o cultivo se faz de forma convencional, em meio hidropônico, por exemplo, essa hortaliça se mostra tolerante à salinidade.

Quanto ao N e sua importância no desenvolvimento do vegetal, esse nutriente faz parte da composição de aminoácidos, nucleotídeos e proteínas, além de ser encontrado em enzimas, coenzimas, vitaminas e pigmentos, sendo então, o nutriente que mais limita o desenvolvimento das plantas (TEIXEIRA et al., 2013; ROCHA, 2019). O NO_3^- é a principal forma pela qual o N é absorvido pelos vegetais, porém o mesmo deve ser reduzido

primeiramente a amônio (NH_4^+), o que acontece através da ação de duas enzimas, a redutase do nitrato (NR) e a redutase do nitrito (NRi), de acordo com Rocha et al. (2020).

O processo de redução e assimilação do N ocorre a partir da NR, a qual reduz NO_3^- a nitrito (NO_2^-) no citosol, este por sua vez é transportado do citosol para os cloroplastos nas folhas e para os plastídeos nas raízes, onde então é reduzido a NH_4^+ pela atividade da NRi, e por fim, o NH_4^+ é assimilado a aminoácidos pelas enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT) (FONTES et al., 2010).

O N favorece a síntese de osmólitos nas plantas, onde a literatura tem relatado que a aplicação de KNO_3 ou $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ vêm reduzindo os danos causados pelo estresse salino devido incremento na relação K^+/Na^+ , Ca^+/Na^+ e na absorção de K^+ (KAYA, et al., 2007; SILVA, 2019). Para o consumo humano a principal problemática se dá quanto ao acúmulo excessivo do NO_3^- em folhas de hortaliças e, por conseguinte, a produção de metabólitos como o NO_2^- , o óxido nítrico e as nitrossaminas, pois possuem reações adversas à saúde humana (LAIA et al., 2018).

Trabalhos referentes ao déficit do NO_3^- na solução nutritiva e suas principais implicações no metabolismo e desenvolvimento vegetal ainda são escassos, não tendo sido possível encontrar referências para embasamento nessa pesquisa.

2.5 Efeitos do Si sob a concentração de nutrientes

Além dos macros e micronutrientes, que são considerados elementos essenciais ao desempenho e funcionamento do ciclo produtivo dos vegetais, outros elementos, como o Si o sódio (Na) e o cobalto (Co) considerados benéficos por substituir de forma parcial esses primeiros, são importantes para o crescimento e o desenvolvimento do vegetal, embora não sejam considerados fator limitante (KORNDORFER et al., 2018). O Si de forma mais específica vem sendo estudado como mitigador dos efeitos deletérios provenientes de estresses abióticos, como o salino por exemplo, dessa forma, ganhando grande destaque para a agricultura do Semiárido. Além disso, segundo Teixeira et al. (2020) o Si pode ainda diminuir os danos causados por desordens nutricionais.

O Si é um dos elementos de grande importância na integridade estrutural da célula. Ele é armazenado no retículo endoplasmático, nas paredes celulares e nos espaços intercelulares como sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$) (SANTOS et al., 2020; TAIZ et al., 2017). Serve

ainda como alternativa à lignina no reforço das paredes celulares, por formar complexos com polifenóis, além disso a acumulação do mesmo nos tecidos vegetais promove crescimento, fertilidade e resistência ao estresse quando disponível em quantidades adequadas (GALATI et al., 2015). Devido a esse acúmulo, esse elemento é ainda apontado como responsável pela melhoria da qualidade pós - colheita de cultivares que recebem doses do mesmo durante o cultivo (GALATI et al., 2015).

O Si tem se mostrado de grande eficiência na utilização em formulações de soluções nutritivas para o cultivo hidropônico, pois este é capaz de reduzir os efeitos negativos dos estresses abióticos (CANTUÁRIO et al., 2014; RIBEIRO, 2017). Cantuário et al. (2014) afirmam ainda que os efeitos benéficos do Si em relação a sua ação contra os estresses abióticos são divididos em dois grupos: físicos e fisiológicos. Os benefícios físicos relacionam-se ao acúmulo do Si nas paredes das células vegetais, formando uma barreira física à perda de água, melhorando a arquitetura das células, e quanto aos benefícios fisiológicos ocorre o aumento da atividade fotossintética, resistência ao ataque de fitopatógenos e pragas favorecendo a não utilização de agrotóxicos e fungicidas (SANTOS et al., 2012).

Quanto a capacidade de absorção e acúmulo desse nutriente nos órgãos vegetais das plantas, elas podem ser classificadas como acumuladoras, possuindo entre 100 a 150 g de Si por Kg de massa seca, intermediárias que apresentam entre 10 a 50 g de Si por Kg de massa seca e as não acumuladoras, com valores abaixo de 5 g de Si por Kg de massa seca (CÔRREA, 2019). Como culturas não acumuladoras de Si temos as hortaliças, a exemplo da alface, onde Souza et al. (2018) relatam que a aplicação de Si em seus cultivos pôde alterar sua composição química através da biofortificação, por apresentarem baixos teores do elemento em seus tecidos, e que um dos benefícios da acumulação do mesmo é de prolongar a vida de prateleira das hortaliças ao diminuir a perda de água durante o armazenamento.

Dessa forma, Luz et al. (2006) ressaltam que o Si pode ser uma alternativa viável para produção hidropônica da alface. Da mesma forma, Resende et al. (2007) afirmam que o Si promove menor oxidação nas folhas externas conservando melhor a coloração verde da alface. Os autores ainda mencionam o efeito da redução da acumulação tóxica de manganês (Mn), Fe e alumínio (Al) e de outros metais pesados.

Tem se observado ainda, que o Si diminui o efeito deletério provocado pelo excesso de sais, aumentando o conteúdo de água das plantas e diluindo os sais acumulados no tecido e

assim, também seus efeitos tóxicos, pois ocorre o aumento na atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), enzimas responsáveis por amenizar os efeitos deletérios dos estresses abióticos (LEMOS NETO et al., 2020).

Em estudo sobre o maracujazeiro amarelo submetido a estresse salino e tratado com diferentes doses de Si, Diniz (2020) observou que a adubação silicatada possibilitou que as plantas reduzissem a perda do potencial osmótico, o qual provoca a diminuição da absorção de água e nutrientes favorecendo o fechamento dos estômatos com a finalidade de mitigar a perda de água por transpiração da planta.

Rodrigues et al. (2018) por sua vez, viu em sua pesquisa com tomate de mesa sob estresse salino, que as doses de 25 mL L⁻¹ e 75 mL L⁻¹ de silicato de potássio (K₂SiO₃) possibilitaram melhores resultados para peso fresco de raízes, número de folhas e de flores. Os autores afirmam que o transporte de Na⁺ nas raízes foi moderadamente reduzido pela adição do Si. Para Lima et al. (2011) o Si aplicado diretamente na solução nutritiva atenua os efeitos negativos do crescimento em plantas de milho cultivadas na presença de NaCl. Por sua vez, Sousa (2019) afirmou que no cultivo de pimenta sob condições salinas a aplicação de Si promoveu inibição dos efeitos deletérios causados pela salinidade, pois causa incremento no processo fotossintético, redução no acúmulo de íons tóxicos e no desequilíbrio nutricional, além da indução em sínteses de enzimas antioxidantes. Rodrigues et al. (2018) diz ainda que há várias pesquisas tentando explicar o efeito do Si diante condições de estresse salino, mas que não há, ainda, evidências claras quanto a este efeito.

Ao tratarmos sobre a interação Si x N, Silva e Trevizam (2015) mencionam que há muitas pesquisas estudando o efeito do Si no metabolismo do N. Cândido et al. (2020), por exemplo, estudaram a hipótese de que o Si seria mitigador dos efeitos causados pelo excesso ou falta de N na solução nutritiva para o cultivo da alface. Seus resultados demonstraram efeitos positivos do nutriente quanto a melhoria nas características exigidas comercialmente. Silva e Prado (2019) relatam ainda, que o Si pode garantir a máxima eficiência do N em sistemas de cultivo.

De acordo com Buchelt (2019) o Si é um elemento benéfico que pode diminuir os efeitos deletérios decorrentes da deficiência de nutrientes em sistemas de cultivo, porém os autores observaram que esse elemento não foi capaz de mitigar os prejuízos fisiológicos da ausência de N em plantas forrageiras. No entanto, atribuem esse resultado ao nível elevado e

tempo de ocorrência do estresse, deixando claro que o Si “não teve tempo” de aliviar a deficiência do macronutriente.

Em trabalho sobre arroz cultivado em solução nutritiva, Ávila et al. (2010) dissertaram sobre a relação Si x N nessa cultura, onde os resultados demonstraram que o maior acúmulo de Si foi registrado nas plantas cultivadas com a maior concentração de N, inferindo-se assim, segundo os autores que o efeito do N na produção de biomassa vegetal está diretamente relacionado ao acúmulo de Si na planta.

Sabe-se que o Si apresenta ação benéfica sobre a enzima NR a medida em que previne a sua degradação em situações de estresses abióticos, e essa ação está ligada diretamente aos teores de N no vegetal já que é esta enzima a responsável pela absorção do mesmo pelos vegetais, causando então seu acúmulo, o que por sua vez favorece a síntese de aminoácidos, proteínas, clorofilas e, por consequência, o aparato fotossintético (ASHFAQUE et al., 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada no setor experimental do Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus IV, localizada na cidade de Catolé do Rocha, no estado da Paraíba, mesorregião do Sertão Paraibano. A área situa-se a 6° 35' de latitude S e 37° 72' de longitude W. Apresenta clima da região do tipo BSw'h', segundo classificação de Köppen, caracterizando-se por ser semiárido quente, com duas estações distintas, uma chuvosa com precipitação irregular e outra sem precipitação. A precipitação média anual é de 870 mm, temperatura média de 27 °C com período chuvoso concentrando-se entre os meses de fevereiro a abril. As análises morfológicas e bioquímicas foram realizadas no LAPROV. A pesquisa foi dividida em dois experimentos com pontos em comum, no entanto analisando o comportamento de diferentes concentrações de nutrientes nas soluções nutritivas frente às condições únicas do cultivo hidropônico.

3.2 Instalação e condução do experimento

Para o experimento montou-se uma bancada hidropônica com altura inicial de 89 cm e final de 77 cm, considerando 8% de declividade. A estrutura da bancada foi montada em madeira e para os perfis hidropônicos utilizou-se canos de PVC com 3 metros de comprimento. Cada perfil hidropônico foi composto por um reservatório de 10 litros e uma eletrobomba (Elect top8 B.F 220V), dessa forma, possuindo seu próprio sistema de abastecimento e retorno da solução nutritiva. A bancada hidropônica experimental completa foi composta por 9 perfis hidropônicos com capacidade para o cultivo de 10 plantas cada, com espaçamento de 25 cm entre plantas e 23 cm entre perfis (Figura 1).



Figura 1: Cróqui da bancada experimental durante os dois experimentos. Fonte: Joseph Hakkinen (2021)

Para a produção de mudas foi utilizado a cultivar de alface crespa Veneranda[®] (Feltrin Sementes), semeada em bandeja de germinação de 200 células, com substrato à base de fibra de coco com CE de $0,05 \text{ dSm}^{-1}$. As mudas foram irrigadas com água destilada e mantidas no escuro até a emergência das plântulas. Em seguida, a bandeja foi levada a estufa e irrigada com solução nutritiva com $\frac{1}{4}$ de força, até o aparecimento da primeira folha após os cotilédones. Nesse estágio iniciou-se a irrigação da bandeja com solução nutritiva com $\frac{1}{2}$ de força, prosseguindo na irrigação até o aparecimento da terceira folha, quando então as mudas foram transferidas para o berçário. A solução nutritiva para as mudas foi elaborada diariamente onde o pH era mantido entre 5,5 e 6,0 e a CE em $1,1 \text{ dSm}^{-1}$. A irrigação das mudas foi conduzida com auxílio de uma piceta (Figura 2 A).



Figura 2: (A) Produção de mudas de alface com substrato de fibra de coco em bandeja plástica; (B) transplântio das mudas de alface da bandeja para a fase de berçário. Fonte: Giuliane Karen de Araújo, 2020

Na fase de berçário as mudas foram levadas a bancada hidropônica da empresa StartUp HidroTech, conveniada ao LAPROV (Figura 2 B). Nesse período as cultivares precisam se desenvolver em perfis hidropônicos de menor espessura. No berçário, as alfaces passaram a receber solução nutritiva com $\frac{3}{4}$ de força durante 15 dias. A solução nutritiva do berçário foi monitorada diariamente quanto ao pH, mantendo-o entre 5,5 e 6,0 e a CE entre $1,3 \text{ dSm}^{-1}$ e $1,6 \text{ dSm}^{-1}$. Após o período de berçário, foi realizado o transplante dos espécimes para a bancada hidropônica experimental final, onde os tratamentos passaram a ser aplicados (Figura 3).

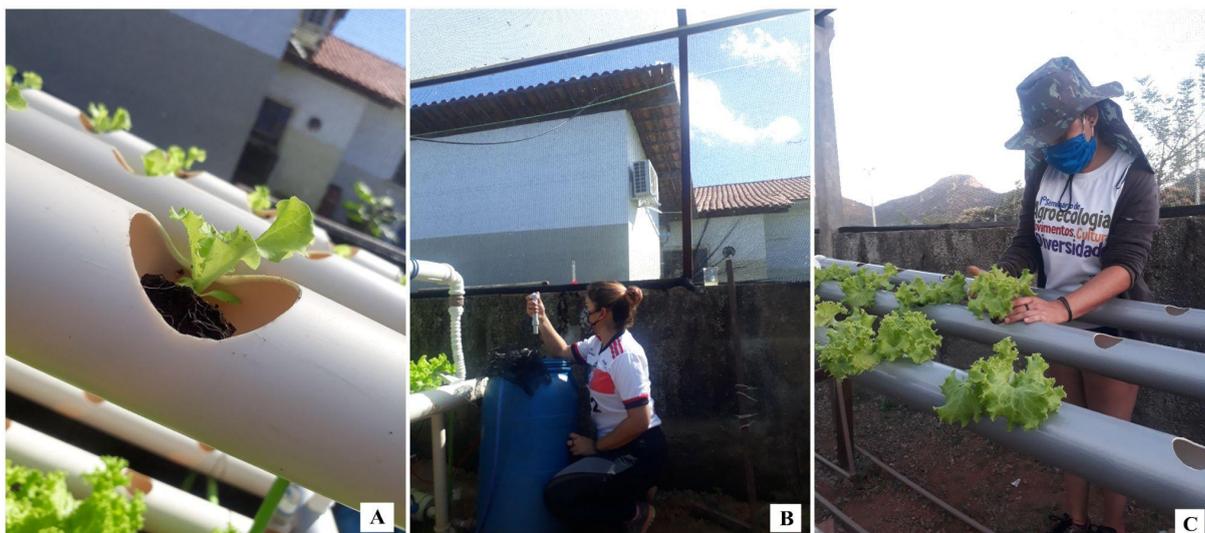


Figura 3: (A) Mudanças de alface em sistema hidropônico na fase de berçário; (B) monitoramento da solução nutritiva durante a fase de berçário; (C) transplante das alfaces da fase de berçário para a fase final no sistema experimental. Fonte: Mateus Sousa, 2020

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

3.3.1 1º Experimento: Avaliação do efeito do Si sob o aumento na concentração de nutrientes da solução nutritiva no cultivo hidropônico da alface

O delineamento experimental utilizado na condução do experimento foi o inteiramente casualizado (DIC), em parcela subdividida e com combinações em esquema fatorial de 3x2, sendo 3 CEs da solução nutritiva [$1,0 \text{ dSm}^{-1}$; $2,0 \text{ dSm}^{-1}$ (controle); $3,0 \text{ dSm}^{-1}$] e 2 doses de Dióxido de Silício (SiO_2) (0 mM e 0,4 mM), pois segundo Lemos Neto (2019) a dose de 0,4 mM de Si é a mais indicada para a produção hidropônica da alface. No total foram formulados 6 tratamentos, com 10 repetições cada, totalizando 60 unidades experimentais.

Os tratamentos foram desenvolvidos a partir da solução nutritiva de Furlani (1999) adaptada, onde as soluções A, B e C, correspondentes aos macronutrientes, micronutrientes e fósforo, respectivamente, foram preparadas em solução estoque concentrada 200x (Tabela 1). A solução nutritiva do tratamento controle ($2,0 \text{ dSm}^{-1}$) foi preparada utilizando 0,05 L de cada solução estoque, completando para 10L com água destilada, conforme Furlani (1999). A solução de $1,0 \text{ dSm}^{-1}$ foi preparada utilizando 50% da solução nutritiva do controle, enquanto que a solução de $3,0 \text{ dSm}^{-1}$ foi preparada utilizando a solução do controle, acrescida de NaCl até alcançar a CE desejada, sempre utilizando água destilada para as preparações. Para os

tratamentos que receberam Si adicionou-se ao reservatório 0,24032g de SiO₂ (0,4 mM em 10L de solução) agitando vigorosamente.

Tabela 1: Sais/fertilizantes que compõem o estoque concentrado 200x da solução nutritiva de Furlani (1999) adaptado, utilizada na condução do 1° e 2° experimentos.

Sais	g/5L
Nitrato de cálcio	750
Fosfato monoamônico	150
Sulfato de magnésio	400
Ácido bórico	1,50
Sulfato de manganês	12,8 (mL)
Sulfato de zinco	0,50
Sulfato de cobre	0,15
Molibdato de sódio	2,81 (mL)
Cloreto férrico	13
EDTA - dissódico	17
Nitrato de potássio	500
	400 ¹
	300 ¹
Cloreto de potássio	8,67 ¹
	17,35 ¹

Fonte: Adaptado de Araújo et al (1999). ¹Adaptações feitas apenas no 2° experimento para compor os tratamentos

As soluções nutritivas foram monitoradas 2x ao dia, mantendo o pH entre 5,5 e 6,0 ajustado com HCl (ácido clorídrico) ou NaOH (hidróxido de sódio), conforme a necessidade. A temperatura, a CE e o consumo hídrico também foram monitorados diariamente. A solução nutritiva e o volume do reservatório dos seis tratamentos foram repostos sempre que a CE e o volume da solução estavam abaixo do indicado para cada tratamento (Figura 4 A, B). As plantas de alface crespa permaneceram 15 dias na bancada experimental final quando então foram colhidas para posteriores análises (Figura 4 C).

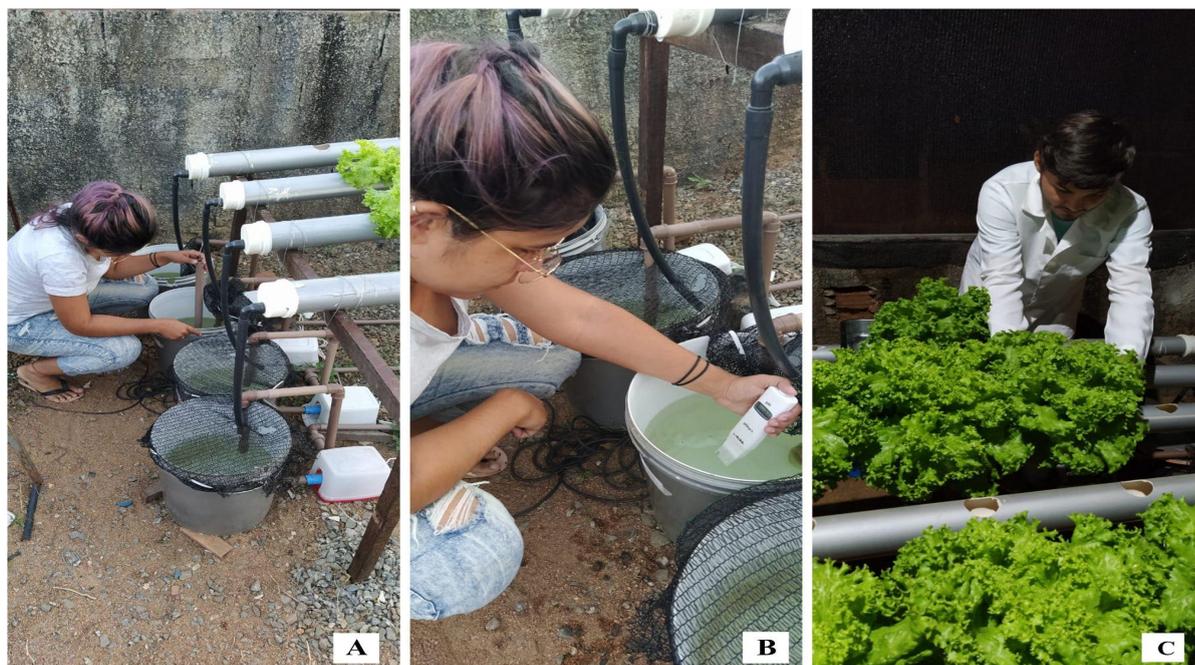


Figura 4: (A, B) Monitoramento da solução nutritiva dos tratamentos durante a fase final; (C) colheita das alfaces no sistema hidropônico experimental para posteriores análises. Fonte: Bruna Porto, 2020

3.3.2 2º Experimento: Avaliação da relação Si/N na solução nutritiva em cultivo hidropônico de plantas de alface

Para a condução do 2º experimento utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em parcela subdividida e com combinações em esquema fatorial de 3x2, composto por 3 concentrações de KNO_3 na solução nutritiva (0,05 M; 0,04 M; 0,03 M) e duas doses de SiO_2 (0 mM e 0,4 mM). Dessa forma, foram formulados 6 tratamentos, com 10 repetições cada, perfazendo 60 unidades experimentais.

Os tratamentos foram desenvolvidos a partir da solução nutritiva de Furlani (1999) adaptada, onde as soluções A, B e C (Figura 5 A, B), correspondentes aos macronutrientes (contendo inclusive o KNO_3), micronutrientes e fósforo, respectivamente, foram preparadas em solução estoque concentrada 200x (Tabela 1). A solução “A” do controle (A1) continha 0,05 M de KNO_3 , enquanto os demais tratamentos foram preparados reduzindo este nutriente para 0,04 M (A2) e 0,03 M (A3). O K foi repostado utilizando cloreto de potássio (KCl) para que a concentração deste íon não fosse comprometida e assim houvesse deficiência do

mesmo, haja vista o KNO_3 também ser responsável pelo provimento desse nutriente às culturas hidropônicas (Tabela 1).



Figura 5: (A) Soluções estoque utilizadas durante o 2º experimento; (B) preparação das soluções estoques do 2º experimento; (C) monitoramento da solução nutritiva durante o 2º experimento. Fonte: Arquivo pessoal, 2020

A solução nutritiva nos reservatórios foi preparada utilizando 0,05 L de cada solução estoque, completando para 10L com água destilada, conforme Furlani (1999). As soluções de

cultivo foram preparadas utilizando-se as soluções A1 (controle), A2 ou A3 conforme o tratamento. Para os tratamentos que receberam Si adicionou-se ao reservatório 0,24032g de SiO₂ (0,4 mM em 10L de solução) agitando vigorosamente.

As soluções nutritivas foram monitoradas 2x ao dia, mantendo o pH entre 5,5 e 6,0 ajustado com HCl ou NaOH, conforme a necessidade e a CE mantida entre 1,5 dSm⁻¹ e 2,0 dSm⁻¹. A temperatura e o consumo hídrico também foram monitorados diariamente. A solução nutritiva e o volume do reservatório dos seis tratamentos foram repostos sempre que a CE e o volume da solução estavam abaixo do indicado para cada tratamento. As plantas de alface crespa permaneceram 15 dias na bancada experimental final quando então foram colhidas para posteriores análises.

3.4 Análises morfológicas

As variáveis morfológicas analisadas foram: altura da planta (AP), mensurada através da medição do coleto à projeção da folha central mais proeminente, por meio de uma régua graduada (cm); número de folhas total (NFT) e comercial (NFC) por plantas, realizada através da contagem de todas as folhas com tamanho mínimo de 5 cm de comprimento e, posteriormente, somente as de valor comercial, conforme descrito por Alencar et al. (2012); diâmetro da cabeça (DC), mensurado através da média de duas leituras no diâmetro dos quadrantes opostos das plantas (cm); circunferência da cabeça (CC), medida através de uma fita métrica; área foliar (AF), a qual foi obtida pelo método dos discos, coletando-se 30 discos dos limbos foliares de cada planta (CARON et al., 2004) por meio de cartuchos de diâmetro interno de 1 cm. Realizou-se a pesagem dos discos e logo após, foram secos em estufa e a área foliar determinada pela equação proposta por Freire et al. (2017) (1). Foram avaliadas também a massa fresca da parte aérea (MFF) através da pesagem da planta (g) sem o sistema radicular e a massa seca das folhas (MSF) (g), obtida através de pesagem após secagem em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 48 horas. Também foram avaliados o comprimento da raiz (CR), obtido com o auxílio de uma fita métrica, e a massa fresca (MFR) (g) e seca da raiz (MSR) (g). Além disso, avaliou-se o volume da raiz (VR) através do método de deslocamento de líquido em proveta (BASSO, 1999), emergindo a raiz em uma proveta de vidro graduada com capacidade de 1 L, preenchida com 0,3 litros de água. O volume foi determinado a partir do volume de água deslocado após a imersão da raiz na proveta.

(1)

$$AF = (MSF \times ATD) * MSD^{-1}$$

onde:

AF: área foliar (cm²)

MSF: massa seca total das folhas (g)

ATD: área total dos discos (cm²)

MSD: massa seca dos discos (g)



Figura 6: (A) Execução das análises morfológicas do 1º experimento; (B) execução das análises morfológicas do 2º experimento; (C) análise dos teores de íons em fotômetro de chamas. Fonte: Bruna Porto, 2020

3.5 Análises bioquímicas

3.5.1 Danos de membrana (DM%)

Para a análise de DM utilizou-se a técnica do extravasamento de eletrólitos, onde procedeu-se a coleta de 30 discos de 1 cm de diâmetro dos limbos foliares e de 10 segmentos de 5 cm das raízes, os mesmos foram imersos em água destilada por um período de no mínimo 6 horas. Após o período transcorrido procedeu-se à leitura da condutividade inicial do extrato. Em seguida, o mesmo foi levado ao banho maria a 100 °C por 60 minutos e após resfriamento, realizada a leitura de condutividade final do extrato. O resultado, expresso em %, foi determinado pela equação:

(2)

$$\%DM: C1/C2 \times 100$$

onde:

% DM: percentual de danos de membrana

C1: condutividade inicial

C2: condutividade final

3.5.2 Conteúdo Relativo de Água (C.R.A) e % de Umidade (%U)

Utilizando os mesmos discos foliares da análise de percentual de DM, realizou-se a pesagem da massa fresca dos mesmos e logo em seguida foram levados a imersão em água destilada pelo período de no mínimo 6 horas. Transcorrido o tempo determinado em protocolo, retirou-se o excesso de água dos discos e procedeu-se à pesagem da massa túrgida dos mesmos em balança analítica. Em seguida, os discos foram transferidos para sacos de papel e levados à estufa a 75 °C por 48 horas, quando então realizou-se a pesagem da massa seca dos mesmos. O CRA e o percentual de umidade foram determinados pelas seguintes equações:

(3)

$$CRA: MF - MS / MT - MS \times 100$$

Onde:

CRA: conteúdo relativo de água

MF: massa fresca dos discos

MS: massa seca dos discos

MT: massa túrgida dos discos

(4)

% Umidade: $MF - MS / MF \times 100$

Onde:

MF: massa fresca dos discos

MS: massa seca dos discos

3.5.3 Concentração Na^+ , Ca^{+2} e K^+

Para a determinação do conteúdo de íons foi utilizado o extrato proveniente da análise de danos de membrana, levando o mesmo para leitura dos íons Na^+ , Ca^{+2} e K^+ em fotômetro de chamas, modelo BFC 150. Emergiu-se o cateter do fotômetro de chamas em um béquer contendo o extrato, dessa forma, ocorrendo a formação de uma névoa, que ao entrar no sistema nebulizador queimador produz os átomos de metais gasosos, estes entram em contato com o combustível utilizado no aparelho e as chamas resultantes refletem a concentração dos íons presentes na solução (figura 6C). Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com NaCl, $CaSO_4$, KCl, onde todos foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$.

3.5.4 Açúcares Solúveis Totais (AST)

Os açúcares solúveis totais foram determinados através do protocolo de Dubois et al. (1956). Para a extração, foi utilizado 50 mg de massa seca em tubos de ensaio contendo 5 mL de etanol 80% e submetidos ao banho maria a 100 °C por 1 hora. Ao fim desse tempo foi coletado o sobrenadante através de filtragem em algodão. Para a quantificação, utilizamos de 150 μL a 100 μL do extrato, completamos o volume para 500 μL com água destilada. Foi adicionado ainda ao tubo de ensaio 500 μL de fenol 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico 96% (H_2SO_4). Após 20 minutos, foi realizada a leitura das amostras em espectrofotômetro de luz visível, modelo GT 7220 em um comprimento de onda de 490 nm (Figura 7 A). Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com glicose, onde todos foram expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ massa seca.

3.5.5 Açúcares redutores (AR) e não redutores (ANR)

Para a análise de açúcares não redutores utilizou-se o mesmo extrato obtido para a análise de AST. Para a quantificação seguiu-se a metodologia de Passos (1996), pela qual utilizamos de 100 μL a 500 μL do extrato, completando para o volume de 900 μL com água destilada. Adicionou-se 100 μL de Hidróxido de Potássio 30% (KOH) e as amostras foram levadas ao banho maria a 100 °C por 10 minutos. Transcorrido o tempo estabelecido, adicionou-se aos tubos de ensaio 2,5 mL do reagente Antrona e assim, as amostras voltaram ao banho maria a 40 °C por 15 minutos. Já em temperatura ambiente as amostras foram lidas em espectrofotômetro de luz visível, modelo GT 7220 a 620 nm de comprimento de onda. A quantificação dos açúcares redutores foi realizada a partir da diferença entre os AST e os ANR (Figura 7 B). Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com sacarose, onde todos foram expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ massa seca.

3.5.6 Aminoácidos livres totais (AALT)

Para a extração dos aminoácidos utilizou-se o mesmo extrato obtido para a análise de AST. Para a quantificação foi utilizado a metodologia descrita em Peoples et al (1989), Yemm et al (1955) e Herridge (1984), onde pipetou-se 100 μL da amostra em tubos de ensaio, 250 μL de tampão citrato 0,2 M e pH 5,0 e ainda, 250 μL de reagente Ninhidrina. Após as amostras serem misturadas em vortex, as mesmas foram conduzidas a banho maria por 15 minutos a uma temperatura de 100 °C. Ao sair do banho maria a reação foi interrompida com banho de gelo, quando então adicionou-se 1,5 mL de etanol 50% às amostras. Após 20 minutos realizou-se a leitura das amostras em espectrofotômetro de luz visível, modelo GT 7220 a 570 nm de comprimento de onda (Figura 7 C). Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com glutamina, onde todos foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ massa seca.

3.5.7 Prolina (PRO)

Para a quantificação de prolina livre foi utilizado o método descrito por Bates et al. (1973) e Troll e Lindsley (1955), onde na extração utilizou-se de 0,05 g a 0,1 g de massa seca, 10 mL de água destilada e após levado ao banho maria a 100 °C por 1 hora. Coletou-se o

sobrenadante por meio de filtragem em algodão. Na quantificação foram pipetados 1 mL do extrato, 1 mL do reagente Ninhidrina ácida e 1 mL de Ácido acético glacial (CH_3COOH). Em seguida, os tubos de ensaio foram agitados em vórtex e levados ao banho maria a $100\text{ }^\circ\text{C}$ por 1 hora. A reação foi interrompida em banho de gelo e ao chegar à temperatura ambiente adicionado 2 mL de Toluol, agitados novamente os tubos de ensaio em vórtex e a leitura em seguida, realizada em espectrofotômetro de luz visível, modelo GT 7220 a 520 nm de comprimento de onda (Figura 7 D). Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com L-prolina, onde todos foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ massa seca.

3.5.8 Proteínas Totais (PT)

Para a mensuração de proteínas seguimos a metodologia de Lowry (1951) modificada. A extração foi realizada através da maceração de 250 mg de massa fresca em almofariz com 3 mL de Tris. Após a maceração, os extratos foram levados à centrífuga a 2000 rpm por 15 minutos. O sobrenadante foi coletado a partir de filtragem em algodão. Na determinação de proteínas nas amostras pipetou-se 20 μL da amostra em tubos de ensaio, em seguida 780 μL de água destilada e 800 μL do reagente de Lowry. As amostras foram agitadas de forma manual e deixadas em repouso por 10 minutos. Em seguida, pipetou-se 400 μL do reagente Folin, mais uma vez as amostras foram agitadas manualmente e deixadas em repouso por 30 minutos, quando então, foi realizada a leitura em espectrofotômetro de luz visível, modelo GT 7220 a 750 nm de comprimento de onda (Figura 7E). Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com albumina, onde todos foram expressos em mg g^{-1} massa fresca.

3.5.9 Quantificação de nitrato

A determinação do conteúdo de nitrogênio foi realizada pelo método de Kjeldahl, descrito por Bremner e Keeney (1965), no entanto, foram realizadas adaptações que melhor representaram as amostras analisadas. Para a quantificação foi pesado 0,2 g de matéria seca em balança analítica e as mesmas transferidas a tubos de ensaio Kjeldahl, onde então adicionou-se ainda 2 g de mistura catalítica. Após 24 horas foi adicionado aos tubos de ensaio Kjeldahl 5 mL de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) e os mesmos levados ao bloco digestor, modelo TE 0364, no qual a temperatura foi sendo elevada até alcançar $350\text{ }^\circ\text{C}$ e por fim, ficando em

repouso por 6 horas. Após o resfriamento das amostras adicionou-se aos tubos de ensaio Kjeldahl 10 mL de água destilada, os quais em temperatura ambiente foram acoplados ao destilador, modelo TE 0364 assim como um erlenmeyer contendo 10 mL de Ácido bórico 4% (H_3BO_3) e 5 gotas do indicador Vermelho de metila. Foram adicionados ainda, em compartimento específico no equipamento, 20 mL de Hidróxido de sódio 50% (NaOH), o qual foi acrescentado ao tubo de ensaio Kjeldahl contendo a amostra a ser destilada. Após o processo de destilação, procedeu-se à titulação das amostras com Ácido clorídrico 0,1 N (HCl) até o ponto de viragem (Figura 7 F).

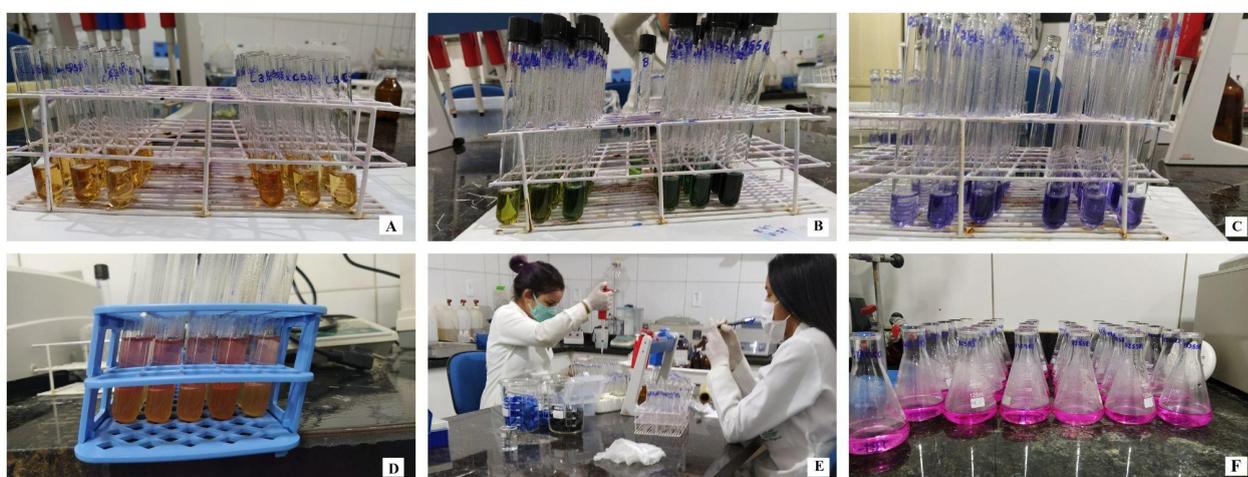


Figura 7: (A) Análise de AST; (B) análise de ANR; (C) análise de AALT; (D) análise de PRO; (E) execução das análises; (F) análise de nitrato. Fonte: Renata Dantas, 2020

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F (5% de probabilidade), e aplicado o teste de comparação de médias Tukey, assim como o teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5%, utilizando o software R[®] e Rstudio[®] pacote Library ExpDes. pt. (FERREIRA et al., 2010). As variáveis não mencionadas e discutidas não sofreram influência significativa dos tratamentos testados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados

1º Experimento: Avaliação do efeito do Si sob o aumento na concentração de nutrientes da solução nutritiva no cultivo hidropônico da alface

A solução nutritiva foi monitorada diariamente nos dias de cultivo quanto a sua temperatura, CE e consumo hídrico pelas plantas de alface. Ao se avaliar os dados referentes ao acompanhamento da solução nutritiva no decorrer dos dias de experimento, na fase final, foi possível perceber que a temperatura da solução se manteve entre 24-31 °C durante os dias de experimento. Avaliando as médias gerais durante o período experimental, observou-se temperaturas entre 27-29 °C (Apêndice A), não variando significativamente durante os dias de experimento. Em relação a CE média diária da solução, o que reflete o consumo de nutrientes pela espécie estudada, para os tratamentos sem a suplementação de Si, foi possível perceber que com o transcorrer dos dias de experimento, as plantas de alface passaram a consumir os nutrientes de acordo com o consumo hídrico. Foi possível perceber ainda que nos tratamentos suplementados com Si (Figura 8 B, D, F) não houve grandes variações no consumo de nutrientes, enquanto que o consumo hídrico aumentou ao longo dos dias de experimento, assim como nos tratamentos sem Si (Apêndice A).

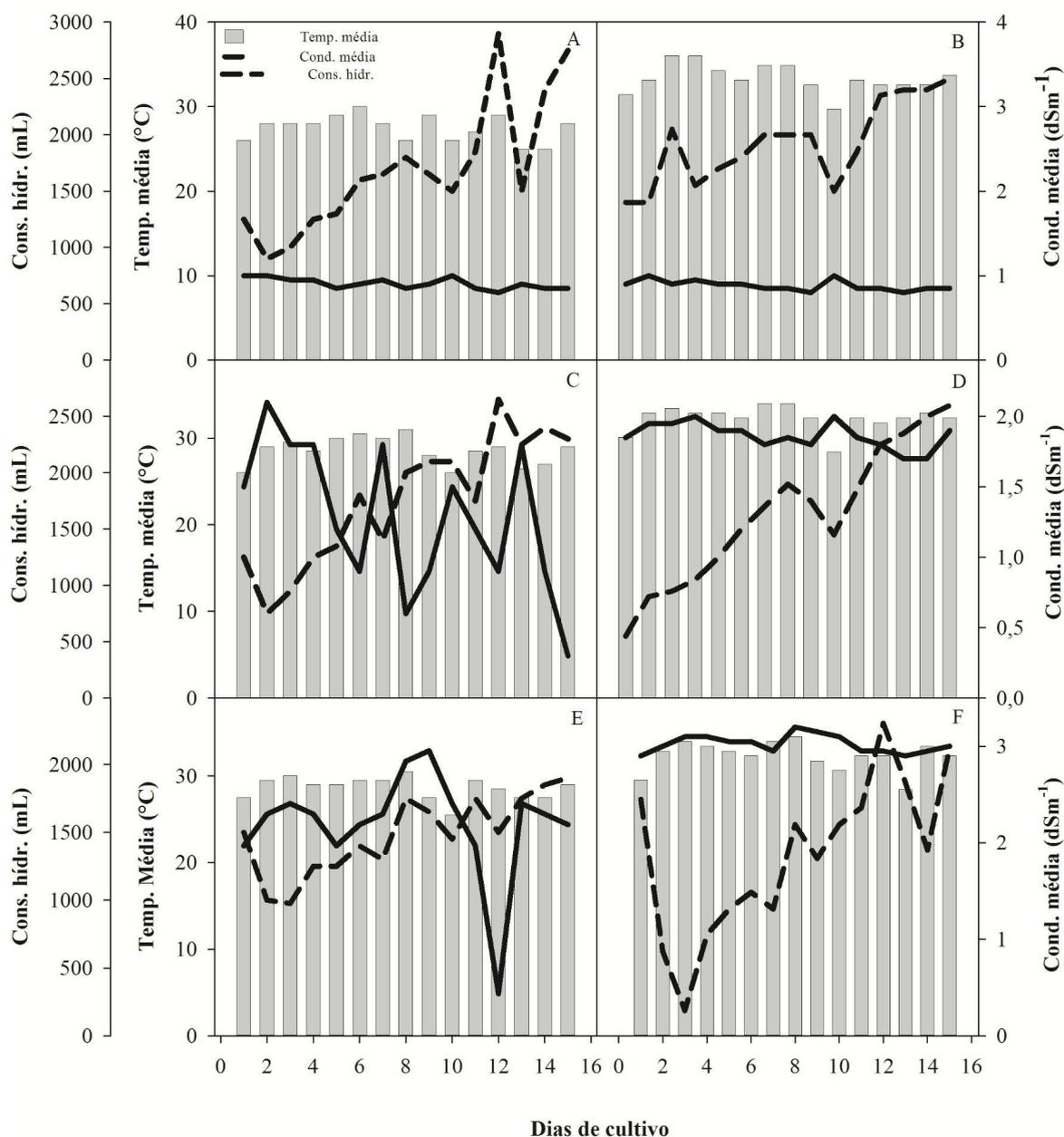


Figura 8: Monitoramento diário da solução nutritiva em relação ao consumo hídrico (mL), temperatura da solução (°C) e condutividade elétrica (dSm⁻¹). (A) tratamento 1 dSm⁻¹ sem Si; (B) tratamento 1 dSm⁻¹ com Si; (C) tratamento 2 dSm⁻¹ sem Si; (D) tratamento 2 dSm⁻¹ com Si; (E) tratamento 3 dSm⁻¹ sem Si; (F) tratamento 3 dSm⁻¹ com Si.

Pôde-se observar que os tratamentos com concentração de 1 dSm⁻¹ de CE (Figura 8 A, B) mantiveram seu consumo de nutrientes de forma constante mesmo com a presença de Si na solução nutritiva. Em relação ao consumo hídrico, a figura (8 A, B) expõe um aumento repentino no 12º dia da engorda, no tratamento sem suplementação de Si, onde as plantas consumiram em média 2900 mL de água, baixando um pouco e voltando a aumentar logo em

seguida, sem motivo aparente e sem sofrer influência da temperatura da solução nutritiva, haja vista essa variável ter se mostrado bem maior em dias de menor consumo hídrico (Apêndice A).

Detendo-se ao tratamento com concentração de 2 dSm^{-1} de CE (Figura 8 C, D) observou-se uma constante no consumo de nutrientes quando utilizada a suplementação de Si na solução nutritiva e um aumento gradativo no consumo hídrico em detrimento ao crescimento das plantas de alface, o que também pôde ser observado no tratamento sem a suplementação. No entanto, para este último, houve variações no consumo de nutrientes (Apêndice A).

No que diz respeito ao tratamento com concentração de 3 dSm^{-1} de CE (Figura 8 E, F) o consumo hídrico se comportou de acordo com os demais tratamentos, embora de uma forma geral tenham sido os tratamentos de menor consumo hídrico (Apêndice A). O consumo de nutrientes também apresentou comportamento constante, na presença e ausência de Si, porém no 12º dia do período de engorda a bomba hidráulica do tratamento sem Si apresentou problemas no funcionamento, sendo necessário substituí-la. Após a substituição, a aferição das variáveis foi realizada e isso pode ter influenciado na diminuição da CE da solução nutritiva para esse tratamento nesse momento em específico. É importante ainda ressaltar o comportamento da CE, pois o apêndice A apresenta valores acima de 3 dSm^{-1} , levando-se a conclusão de que as plantas desse tratamento não estavam absorvendo de forma eficiente os nutrientes.

Sobre os aspectos morfológicos das plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico mensurou-se AP, CR, NFT, NFC, DC e CC (Figura 9). Observou-se que entre as CEs de 1 dSm^{-1} e 2 dSm^{-1} para todos os resultados observados não houve diferenças estatísticas entre elas, exceto para CR onde, na condutividade de 2 dSm^{-1} , houve aumento da variável apenas com a adição de Si. Por outro lado, o tratamento com 3 dSm^{-1} promoveu uma redução significativa em todas as variáveis quando da adição de Si à solução nutritiva.

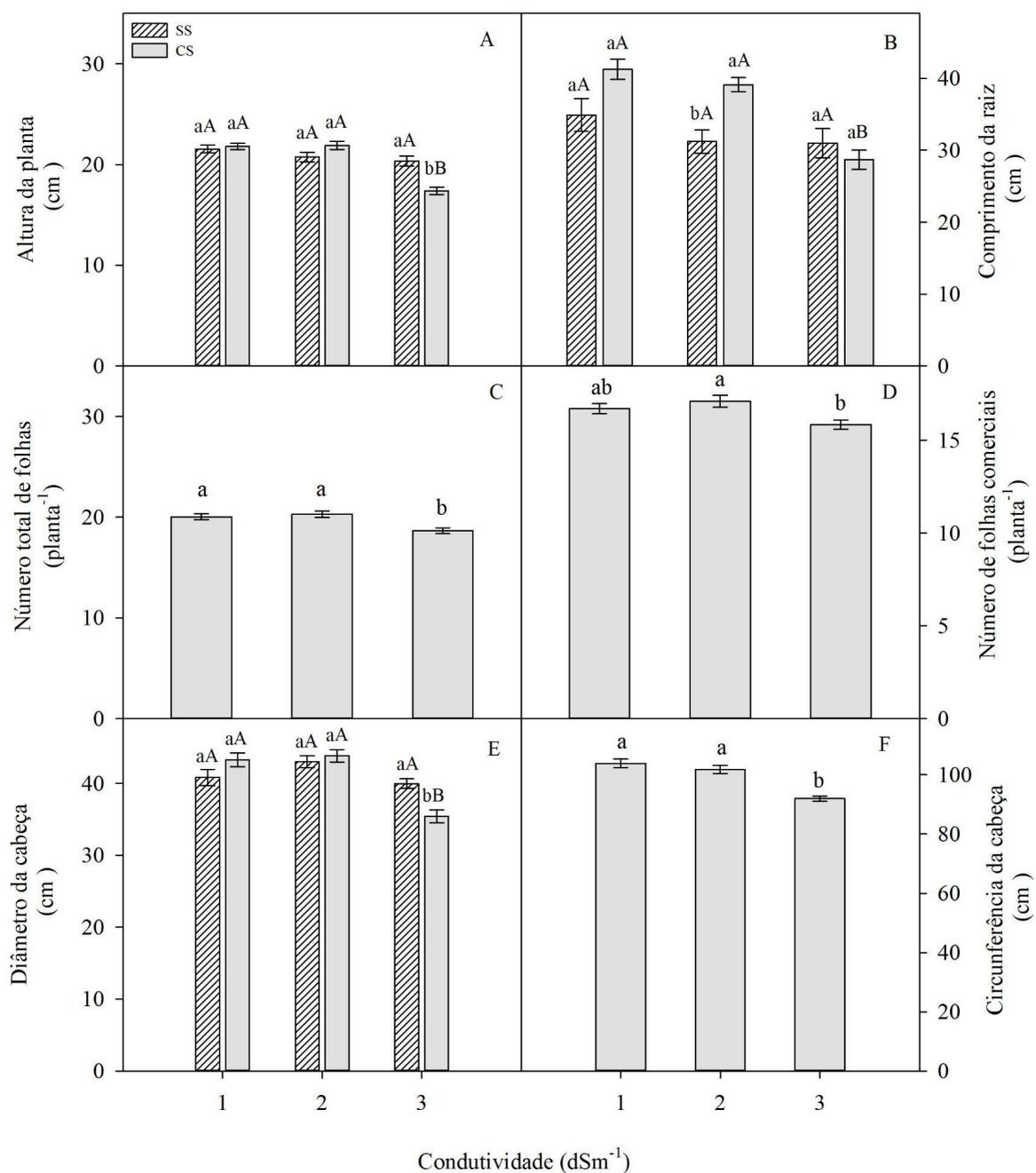


Figura 9: Características morfológicas das alfaces cultivadas em sistema hidropônico. (A) altura da planta (cm); (B) comprimento da raiz (cm); (C) número de folha total (planta⁻¹); (D) número de folha comercial (planta⁻¹); (E) diâmetro da cabeça (cm); (F) circunferência da cabeça (cm). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada condutividade, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as condutividades.

Houve interação significativa para a AP das alfaces hidropônicas quanto às CEs estudadas e a suplementação de Si na solução nutritiva (Figura 9 A). É possível ainda observar que o Si promoveu um decréscimo de 37% na variável, quando as plantas foram submetidas a uma maior concentração de sais à solução nutritiva. Esse mesmo resultado foi observado para o CR, com uma redução de 41% ao se adicionar Si na CE de 3 dSm⁻¹. Em contrapartida, em 1 dSm⁻¹ e 2 dSm⁻¹ houve aumento de 18 e 10% respectivamente para essa variável (Figura 9 B). Para o NFT e NFC (Figura 9 C, D) a adição de Si à solução nutritiva não influenciou os resultados, ocorrendo decréscimos de 27 e 26%, respectivamente em soluções com maiores concentrações de nutrientes (3 dSm⁻¹). O Si voltou a causar redução para a variável DC (Figura 9 E) em situação de alta salinidade, provocando decréscimo de 24% na CE de 3 dSm⁻¹. No entanto, para CC apenas as CEs influenciaram os resultados para a variável, onde em 3 dSm⁻¹ houve redução de 32%.

Para o VR também houve interação significativa entre as CEs estudadas e a suplementação de Si na solução nutritiva (Figura 10 A). É possível observar que o Si promoveu um aumento de 17% no VR quando a CE se apresentou em 1 dSm⁻¹ (53 mm³), enquanto nas demais CEs não houve essa interferência. Levando-se ainda em consideração o comportamento das CEs estudadas em função da aplicação do Si, observou-se que o VR aumentou em 50% com o acréscimo de CE (56,5 mm³) nos tratamentos sem Si, não havendo diferença de volume para os tratamentos com Si.

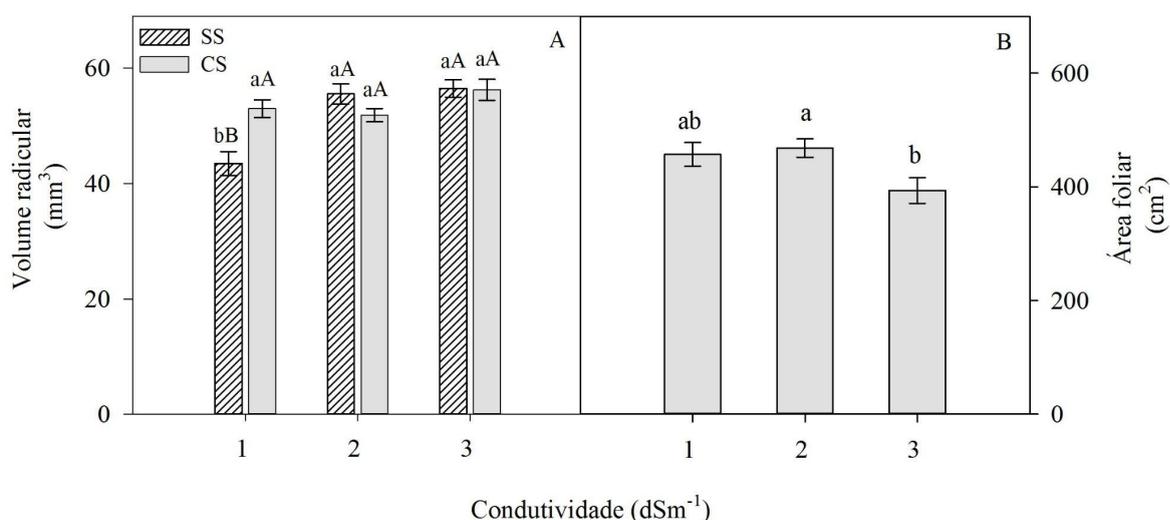


Figura 10: (A) volume da raiz (mm³) de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico; (B) área foliar (cm²) de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas

das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada condutividade, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as condutividades

Não houve interação significativa da suplementação de Si nas soluções nutritivas estudadas para a AF (Figura 10 B). No entanto, é possível perceber influência das CEs analisadas, onde houve diferença estatística entre a CE de 2 dSm^{-1} (468,51 cm^2) e a de 3 dSm^{-1} (393,70 cm^2), havendo redução de 43% entre as mesmas, mas não diferindo da CE de 1 dSm^{-1} (457,31 cm^2).

A MFF foi influenciada diretamente pela disponibilidade de sais fornecidos e pela adição de Si à solução nutritiva, sem ocorrer interação entre esses fatores (Figura 11 A, B). É possível observar que a CE de 1 dSm^{-1} não diferiu estatisticamente da CE de 2 dSm^{-1} , porém ocorreu decréscimo de 45,6% da MFF quando adicionado mais sal à solução nutritiva (3 dSm^{-1}). A MFF foi influenciada ainda pela aplicação de Si durante o experimento causando um aumento de 32% na mesma. O mesmo efeito foi observado na MFR, observando interferência dos fatores CE e aplicação de Si, onde os mesmos influenciaram na resposta da planta, mas de forma isolada (Figura 11 C, D).

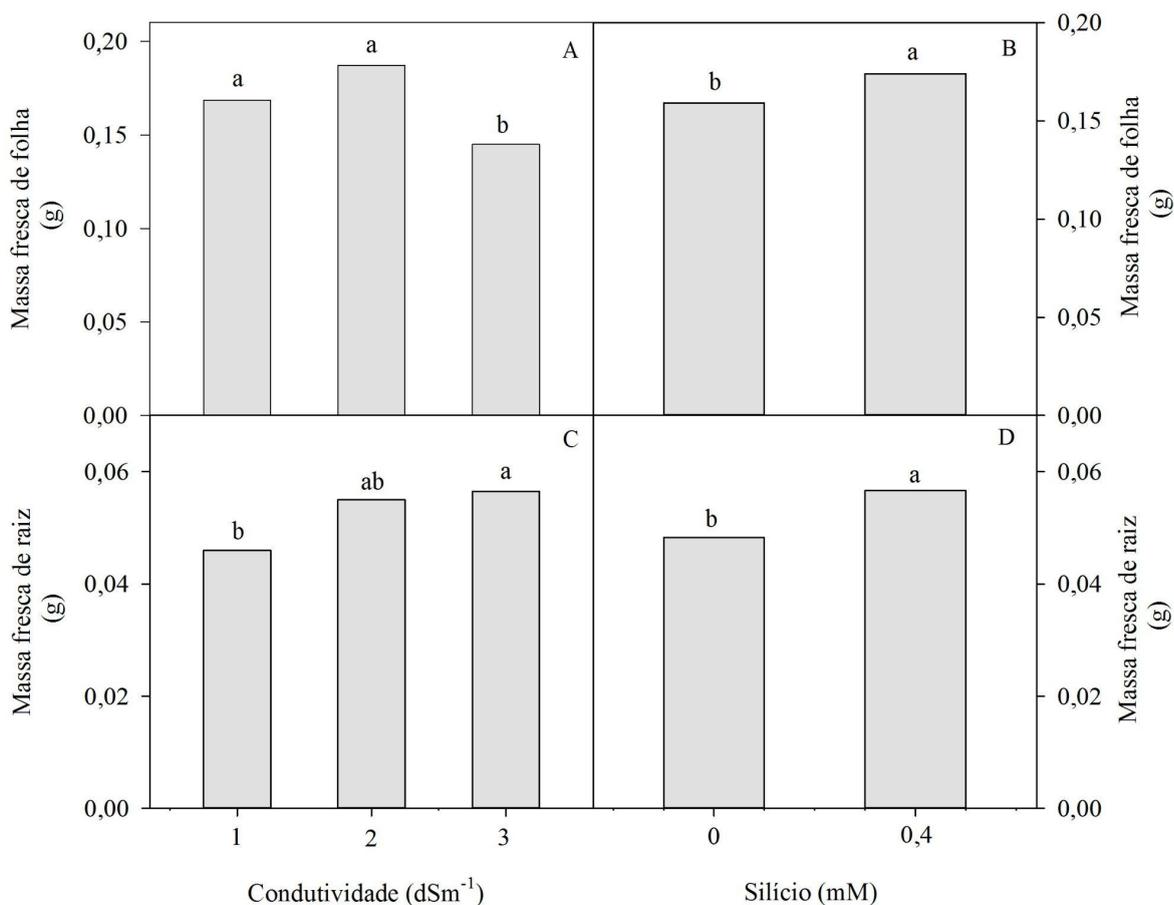


Figura 11: Biomassa fresca total de plantas de alface hidropônicas. (A, B) massa fresca de folhas (g); (C, D) massa fresca de raiz (g). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A MFR aumentou à medida que se adicionou mais sais à solução nutritiva, com um acréscimo de 18% na CE de 3 dSm⁻¹ (0,0565 g) e de forma contrária, em 1 dSm⁻¹, reduzindo em 54% (0,046 g), quando comparadas a CE controle de 2 dSm⁻¹ (0,055 g). Vale salientar que na figura 11 D a adição de Si à solução nutritiva influenciou o aumento da MFR, promovendo acréscimo de 30% (0,0566 g).

Ao avaliar a MSF observou-se que, semelhantemente à MFF, não houve diferença significativa entre as CE de 2 dSm⁻¹ e de 1 dSm⁻¹, sendo esta última estatisticamente semelhante a CE de 3 dSm⁻¹. No entanto, é perceptível um decréscimo de 25,8 % da MSF ao aumentar as concentrações de sais para 3 dSm⁻¹ (Figura 12 A).

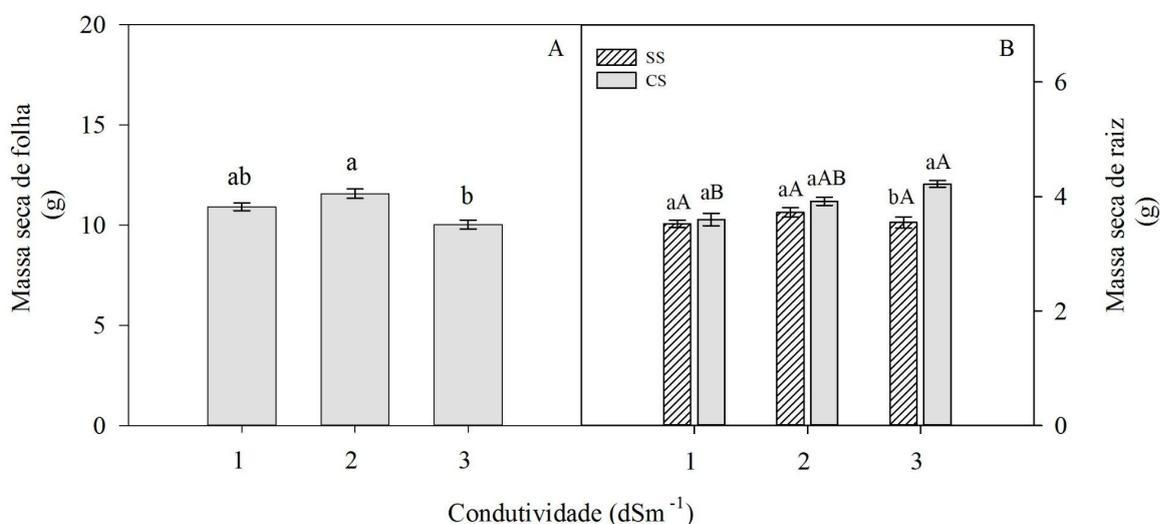


Figura 12: Biomassa seca total de plantas de alface hidropônicas. (A) massa seca de folha (g); (B) massa seca de raiz (g). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada condutividade, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as condutividades

Observou-se ainda, na MSR a interação entre os fatores CE e Si, onde a adição desse elemento mostrou-se irrelevante nas CE de 1 dSm⁻¹ e 2 dSm⁻¹, não diferindo estatisticamente das plantas que receberam solução nutritiva sem Si, mas causando aumento de 31% na CE de 3 dSm⁻¹ (Figura 12 B).

O CRA e o %U nas plantas de alface hidropônica estudadas, não sofreram interação entre os fatores analisados. Os tratamentos apresentaram 58,6%; 47,6% e 44,8% de CRA nas concentrações de nutrientes de 1 dSm⁻¹, 2 dSm⁻¹ e 3 dSm⁻¹, respectivamente. Para o %U foram registrados 23,5%; 23,4% e 23% nas mesmas concentrações.

O conteúdo de íons em alfaces hidropônicas também foi analisado, onde observou-se que não houve interação entre os fatores estudados, havendo apenas influência da CE para as partes aérea e radicular dos vegetais. Ao se avaliar os teores de Na⁺ e Ca²⁺ em folha das alfaces hidropônicas pesquisadas, percebeu-se um aumento desses íons nos tratamentos com maior concentração de sais (3 dSm⁻¹) (Figura 13 A, B). Contudo, para a concentração de K⁺ não houve diferença estatística entre os tratamentos, com uma média de 1,343 μmol g⁻¹.

Para os teores de Na^+ em folhas de alface hidropônica não houve diferença estatística entre as CE de 1 dSm^{-1} e 2 dSm^{-1} , mas para 3 dSm^{-1} houve um acréscimo significativo de 42% ($0,503 \mu\text{mol g}^{-1}$). Resultado semelhante foi observado quanto ao conteúdo de Ca^{2+} , não ocorrendo diferença estatística entre a CE de 1 dSm^{-1} e 2 dSm^{-1} e incremento de 88% na CE de 3 dSm^{-1} . (Figura 13 B).

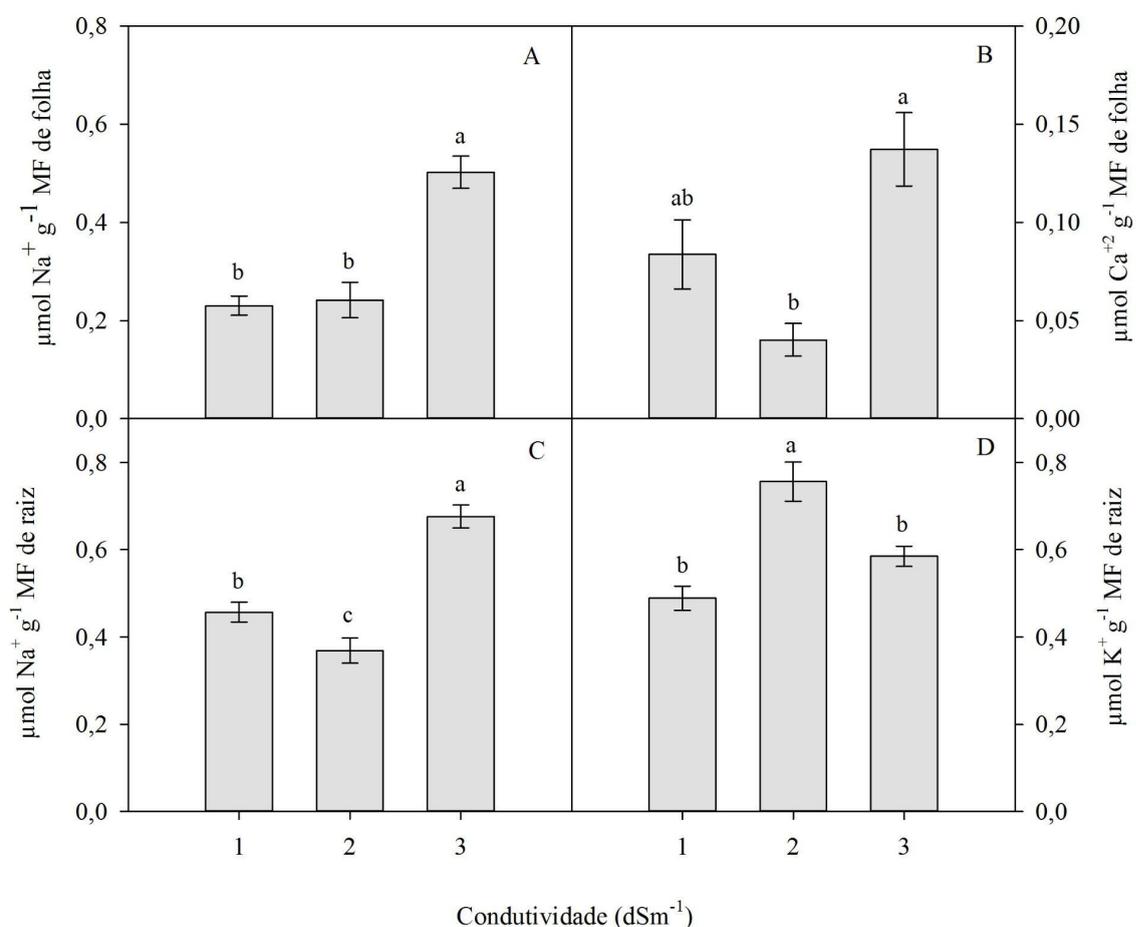


Figura 13: (A) Teores de íons Na^+ em folhas de plantas de alfaces cultivadas em sistema hidropônico; (B) teores de íons Ca^{2+} em folhas de plantas de alfaces cultivadas em sistema hidropônico; (C) teores de Na^+ em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico; (D) teores de K^+ em raízes de plantas de alfaces cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na análise dos teores de sais em raízes foi possível observar que não houve interação significativa entre os fatores analisados quando avaliado os teores de Ca^{2+} , permanecendo este com uma média de $0,079 \mu\text{mol g}^{-1}$. Para o conteúdo de Na^+ , constatou-se que as CE não estabeleceram relação direta com a adição do Si, mas o tratamento de 3 dSm^{-1} apresentou a maior concentração desse íon com uma média de $0,712 \mu\text{mol g}^{-1}$ (Figura 13 C). Em relação ao conteúdo de K^+ nas raízes de alfaces hidropônicas a CE de 2 dSm^{-1} diferiu-se estatisticamente das demais com média de $0,791 \mu\text{mol g}^{-1}$ ocorrendo decréscimo de 59% desse íon para a CE de 1 dSm^{-1} e de 50% para a de 3 dSm^{-1} (Figura 13 D).

O conteúdo de osmoprotetores também foi avaliado, onde para AST e ART em folhas não houve interação entre os fatores CE e a suplementação a base de Si (Figura 14 A, B). No entanto, foi possível observar diferença estatística entre as CEs, onde a de 1 dSm^{-1} apresentou os maiores teores, com médias de $10,915 \mu\text{g g}^{-1}$ em AST e $4,161 \mu\text{g g}^{-1}$ em ART. Em AST houve um decréscimo de 62% entre as CEs de 1 dSm^{-1} e 3 dSm^{-1} , e de 60% em ART nas respectivas CEs.

Quanto à concentração de ANR em folhas notou-se interação entre os fatores CE e Si, onde os teores de sacarose reduziram em 63% da CE de 1 dSm^{-1} para a de 2 dSm^{-1} , mas não diferindo estatisticamente da de 3 dSm^{-1} . Entretanto, plantas que não foram suplementadas com Si não apresentaram diferença significativa entre si quanto a ANR em folha. Na CE de 1 dSm^{-1} encontrou-se o maior acúmulo de ANR em folha a partir da adição de Si em solução nutritiva ($6,586 \mu\text{g g}^{-1}$) diferindo estatisticamente das demais (Figura 14 C).

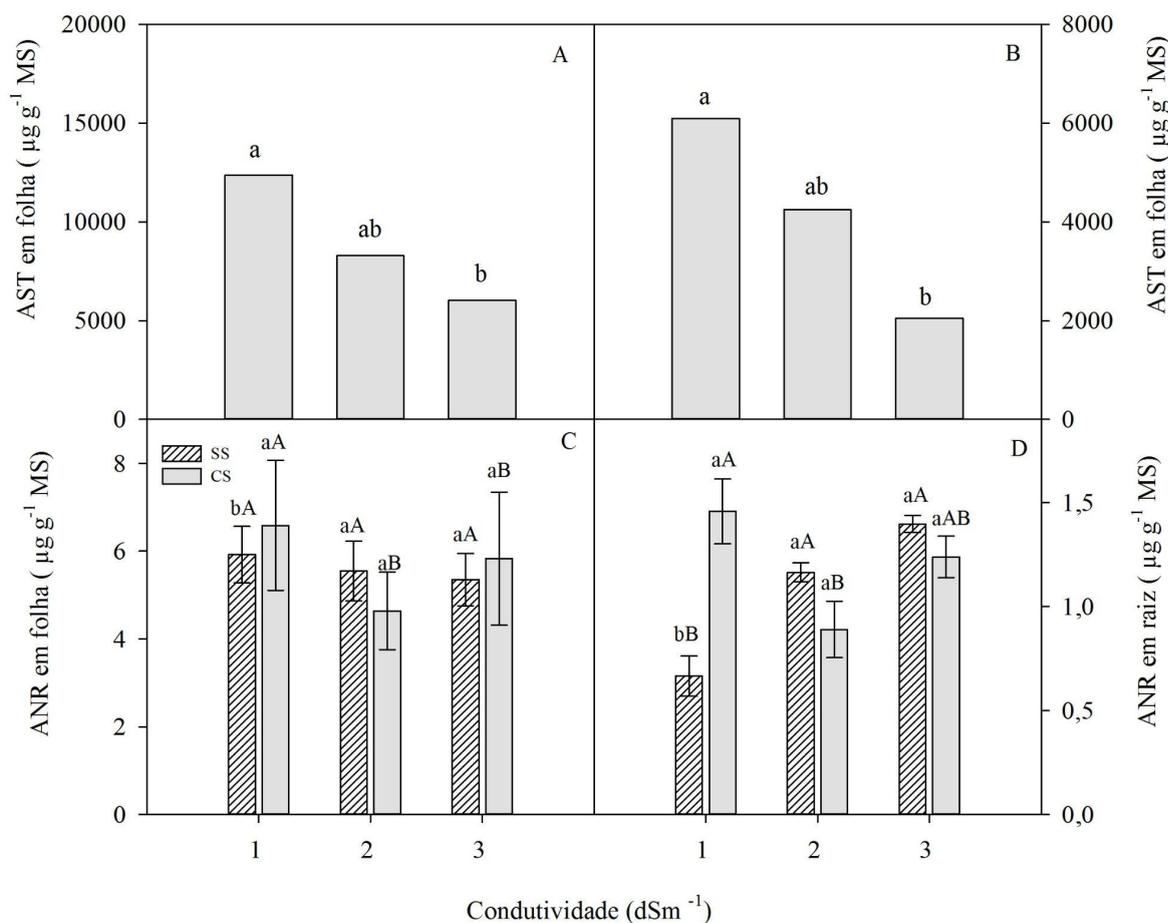


Figura 14: Teores de açúcares em plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. (A) açúcares solúveis totais em folhas (AST); (B) açúcares redutores em folhas (ART); (C) açúcares não redutores em folhas (ANR); (D) açúcares não redutores em raízes (ANR). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada condutividade, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as condutividades

Avaliando os açúcares na parte radicular em plantas de alfaces hidropônicas foi possível concluir que para AST e ART não houve diferença estatística entre os tratamentos, havendo interação significativa apenas em ANR (Figura 14 D). Em raízes de plantas de alfaces hidropônicas suplementadas com Si houve redução de 77% nos teores de ANR ao se elevar a CE da solução nutritiva de 1 dSm⁻¹ para 2 dSm⁻¹, sendo que estas não diferiram da CE de 3 dSm⁻¹. Registrou-se resultado inverso para as plantas sem a suplementação silicatada, aumentando em 27% da CE de 1 dSm⁻¹ para 2 dSm⁻¹ e esta última, por sua vez, não diferindo da de 3 dSm⁻¹ quanto aos teores de ANR em raízes. As maiores concentrações de ANR em

raízes das alfaces hidropônicas foram registradas em 1 dSm^{-1} com média de $1,616 \mu\text{g g}^{-1}$ quando se adicionou Si à solução nutritiva, e nas plantas com a ausência de suplementação silicatada a maior média de ANR foi encontrada na CE de 2 dSm^{-1} ($1,295 \mu\text{g g}^{-1}$) (Figura 14 D).

Em relação aos dados de PT e AALT não houve interação entre os fatores CE e Si, havendo apenas resposta quanto a adição de Si à solução nutritiva durante o cultivo hidropônico (Figura 15 A, B). Em PRO as diferentes CE e a adição de Si em folha, não interagiram entre si (Figura 16 A, B), mas causaram respostas de forma isolada. Os níveis de PT, AALT e PRO em folhas reduziram significativamente em detrimento da disponibilização de Si na solução nutritiva, denotando um decréscimo de 43% em PT, 84% em AALT (Figura 15 A, B) e 80 % em PRO (Figura 16 B). A concentração de PRO com relação às CEs disponibilizadas apresentou decréscimo significativo entre as CE de 2 dSm^{-1} e 3 dSm^{-1} , constatando-se redução de 43%, mas não diferindo esta última da de 1 dSm^{-1} (Figura 16 A). Quanto às raízes das alfaces hidropônicas estudadas, notou-se que os teores de PT e PRO aumentaram em 3,7% e 6,2%, respectivamente, com a adição de Si, em contrapartida os de AALT reduziram em 90% (Figura 15 C, D, E).

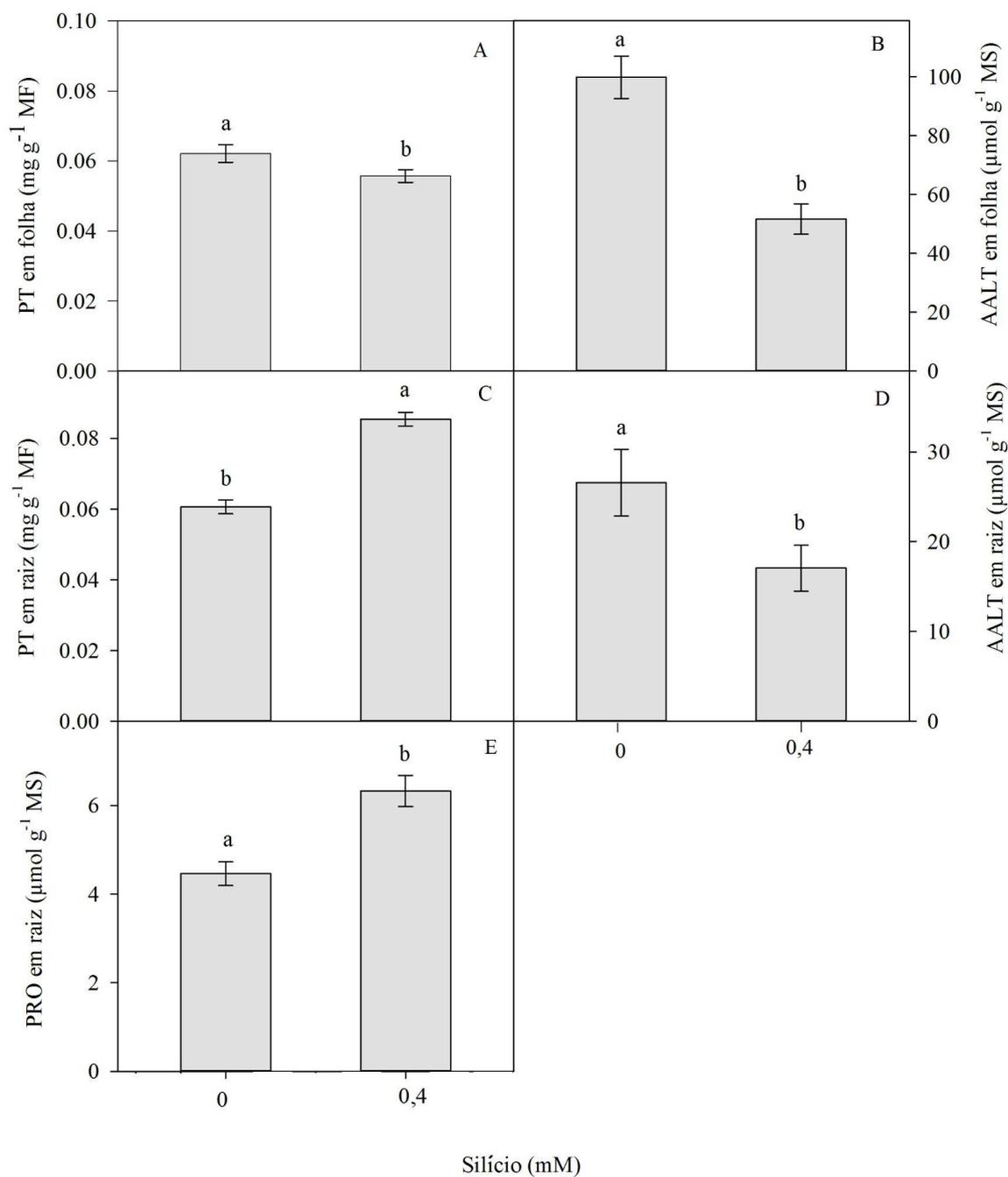


Figura 15: Teores de proteínas em plantas de alface hidropônicas. (A) proteínas totais em folha (PT); (B) aminoácidos totais em folha (AALT). (C) proteínas totais em raiz (PT); (D) aminoácidos totais em raiz (AALT); (E) prolina em raiz (PRO). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

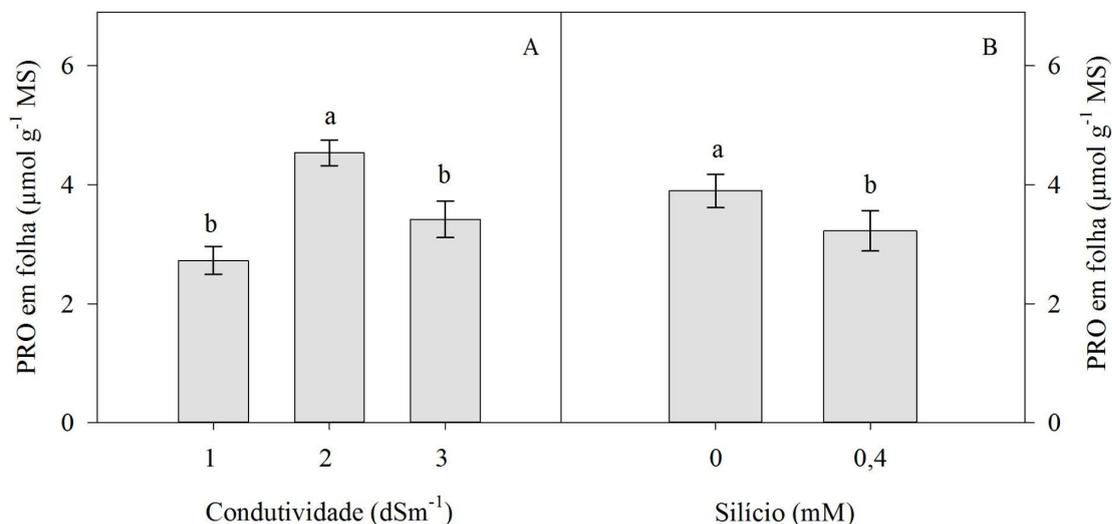


Figura 16: Teores de prolina em folha de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (PRO). (A) resposta de folhas de alface hidropônicas quanto a elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva; (B) resposta de folhas de alface hidropônicas quanto a adição de Si à solução nutritiva. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2 Discussão

Para o cultivo hidropônico um dos principais fatores que devem ser observados é quanto a temperatura da solução nutritiva, tanto no que diz respeito ao ambiente e clima de cultivo, quanto e principalmente a sua própria. O cultivo hidropônico já é uma prática de resultados promissores em regiões de clima quente. Bremenkamp et al. (2012) relataram que para o cultivo hidropônico da alface as temperaturas ideais podem estar na faixa de 24-27 °C. Em trabalho referente ao monitoramento dos fatores meteorológicos de soluções nutritivas em sistemas hidropônicos, Silva et al. (2017) registraram, durante 12 dias de experimento, temperaturas acima de 30 °C, o que se mostrou de acordo com os dados do presente trabalho. Andrade (2019) registrou aumento da temperatura da solução nutritiva em detrimento ao aumento da temperatura do ar, apresentando uma máxima de 34 °C nas horas mais quentes do

dia, Cometti et al. (2018) relataram ainda, que a temperatura da solução nutritiva reflete a temperatura do ar.

Soares et al. (2020) avaliaram o cultivo e resposta de cultivares de alface hidropônica no Agreste paraibano, com temperatura máxima de 26 °C, indicando as cultivares Lavínia, Elisa, Mimosa e Regiane como adaptadas ao cultivo hidropônico em condições climáticas elevadas. Se observada a temperatura média diária para o município de Catolé do Rocha, PB em torno de 26,8 °C (ACCUWEATHER, 2021) no período de experimento é possível corroborar os dados aqui apresentados. Essa elevação da temperatura no cultivo de culturas sensíveis à radiação intensa, mais especificamente no caso da alface, pode alterar o período total para que a planta alcance o ponto de colheita, causando pendoamento precoce e perda da qualidade das folhas (DIAMANTE et al., 2013).

No entanto, Garcia Neto (2018) relatou que o Si pode induzir a produção de compostos antioxidantes que mitigam os efeitos das altas temperaturas. De acordo com Ashraf et al. (2010) o Si age ainda, diretamente na transpiração do vegetal exposto a altas temperaturas. O elemento forma uma camada protetora que reduz a transpiração, além de evitar a compressão dos vasos do xilema durante esse processo (ASHRAF et al., 2010).

Já para o fator consumo hídrico e nutricional, Sousa et al. (2020) sugeriram que no cultivo hidropônico a absorção de água pelas plantas é proporcional à concentração de nutrientes da solução nutritiva. Esse fato está relacionado ao potencial osmótico, e muito provavelmente é proveniente do aumento da transpiração pelas plantas, já que o volume da solução a ser reposta durante os estágios de desenvolvimento fenológico da planta é definido pela transpiração (COMETTI et al., 2018). A concentração de solutos nas células do xilema reduzem o potencial osmótico e conseqüentemente o potencial hídrico que é o responsável pela força que impulsiona a absorção de água pelas raízes, sendo assim, a planta não irá absorver água e conseqüentemente nutrientes (SCHOSSLER et al., 2012). Paulus et al. (2012) constataram em experimento que o aumento da concentração de íons na solução nutritiva resultou na redução do consumo hídrico de alfaves hidropônicas da variedade Verônica. Além disso, segundo Cometti et al. (2018) quanto maior a quantidade de sais na solução, maior a restrição à absorção de água pelas raízes e, conseqüentemente, de nutrientes. Sousa et al. (2020) dizem ainda que CEs muito altas impedem a absorção eficiente de nutrientes. Dessa forma, explica-se, o tratamento com concentração de 3 dSm⁻¹ ter sido o de menor absorção hídrica durante o experimento, além de absorção de nutrientes reduzida (Apêndice A).

No entanto, com a adição do Si à solução nutritiva até mesmo os tratamentos com concentrações menores de nutrientes (1 dSm^{-1} e 2 dSm^{-1}) apresentaram uma menor absorção nutricional, o que pode ser reflexo da competição do Si com outros nutrientes, mas que geralmente não influencia negativamente as características econômicas das culturas (NEVES et al., 2020).

De acordo com Pinto et al. (2009) o Si influencia a translocação e a absorção de alguns macro e micronutrientes. Freitas et al. (2015) estudando o efeito do Si em plantas de arroz de terras altas, observaram que esse elemento influenciou negativamente a absorção e o transporte do micronutriente Boro (B) nas plantas. Devido a essa característica o Si pode ainda reduzir o efeito tóxico de alguns elementos, tais como o Mn e o Fe (JOB, 2019).

Com o acompanhamento adequado da solução nutritiva o cultivo hidropônico pode garantir características comerciais de alta qualidade para as culturas (Figura 9). A concentração de nutrientes na solução nutritiva, assim como o uso do Si, refletiram nas características ditas comerciais da cultivar, especialmente quanto ao CR. Segundo Soares et al. (2011) em substratos com uma menor concentração de nutrientes, o aumento dessa variável se torna estratégica para a busca de nutrientes necessários ao seu desenvolvimento, sendo o Si agente estimulador dessa característica. Esse resultado pode ter influenciado então as demais características morfológicas estudadas, as quais se mostraram com qualidade comercial mesmo em concentrações reduzidas de nutrientes.

Segundo Neves et al. (2016), as variáveis AP e CC, por exemplo, permitem uma melhor qualidade visual para o quesito comercial, o que pode indicar para o presente trabalho, que mesmo em concentrações reduzidas de nutrientes (1 dSm^{-1}) a cultura da alface é capaz de produzir de forma satisfatória em sistema hidropônico. Já Silva et al. (2017) em estudo com alfaces submetidas a diferentes doses de NaCl na água de irrigação perceberam redução na AP e NFT nas plantas em consonância ao aumento da salinidade, corroborando com os resultados aqui apresentados. Os autores explicam que esses efeitos são adaptações da planta às condições adversas, de forma a reduzir o gasto de energia, além de manter a absorção de água, refletindo na redução da transpiração (SILVA et al., 2017). O que também pode ser confirmado através da análise do apêndice A, onde se observa menor consumo hídrico ao longo dos dias de cultivo nos tratamentos de maior concentração salina.

Ainda, Oliveira et al. (2004) afirmaram, que o NFT é uma característica própria de cada cultivar, sendo que, geralmente, cultivares do grupo lisa apresentam maior NFT em

relação aos outros grupos e, frequentemente, um grande número de folhas pequenas, sendo essa característica extremamente importante na comercialização da alface.

Quanto a ação do Si sob os tratamentos, Rizwan et al. (2015) sugerem que este é um fitorregulador de mudanças fisiológicas na planta, diminuindo a taxa de transpiração, aumentando a capacidade de ajuste osmótico ou aumentando a absorção de água, proporcionando um melhor desenvolvimento vegetativo. Entretanto, de acordo com Neves et al. (2020) a resposta ao Si varia entre cultivares de alface e provavelmente sofrem o efeito das condições ambientais durante o período de crescimento e desenvolvimento das plantas. Em estudo sobre a ação do Si na mitigação dos efeitos da salinidade em plantas de alface, Lemos Neto et al. (2018), por exemplo, não registraram efeito positivo do Si nas características de crescimento de alfaves cv. Lucy Brown submetidas a estresse salino, o que está de acordo com o presente trabalho (Figura 9). Neves et al. (2020) também registraram efeito negativo para características de crescimento quando da adição do Si na solução nutritiva no cultivo sem solo de alface cv. Veneranda, reduzindo o número de folhas da planta.

Segundo Luz et al., (2006) em temperaturas elevadas do ambiente, quando a planta passa a perder água, o Si se polimeriza na parede das células dos estômatos diminuindo a flexibilidade dos mesmos e permitindo seu fechamento. Esse processo diminui a transpiração e a perda de água e conseqüentemente, a fotossíntese, o que pode ter levado ao menor desenvolvimento da cabeça e menor massa das plantas cultivadas com Si. No entanto, é possível inferir que o Si, embora não tenha melhorado os aspectos morfológicos das alfaves, possibilitou respostas adaptativas às condições adversas de alta salinidade às quais estavam sendo submetidas.

A figura 10 A também demonstra resultados onde é possível observar o efeito do Si para o VR. Segundo Borcioni et al. (2016) o VR de uma dada cultura tem relação direta com o volume de solo explorado pelas raízes. Se levarmos esse conceito para o cultivo hidropônico, o VR adequado atua como uma barreira efetiva ao fluxo da solução nutritiva, correspondendo então à retenção radicular (LUZ et al., 2017). Em estudo com alface hidropônica, avaliando o sistema radicular das plantas, Luz et al. (2017) registraram valores elevados de RET (retenção de solução nutritiva) em detrimento ao maior VR. Segundo Pugliesi (2003) essa retenção de solução nutritiva pelo sistema radicular de culturas hidropônicas em sistema NFT supre a demanda de água e nutrientes da planta nos intervalos de fornecimento, até que o sistema moto-bomba volte a disponibilizar solução nutritiva. Esse

efeito pode ser uma vantagem durante eventuais problemas relacionados com o suprimento da solução, como quedas de energia, problemas hidráulicos no sistema, entre outros.

Em trabalho desenvolvido com mamoeiro, Dantas et al. (2019) registraram o aumento no VR das plantas estudadas a partir da suplementação de Si nas lâminas de irrigação utilizadas. Eteessami e Jeong (2018); Pei et al. (2010) atribuíram ao Si esse crescimento no VR, à medida em que o mesmo promove a biossíntese de hormônios como o ABA (ácido abscísico), e estes por sua vez, o aumento do sistema radicular, e por consequência, também o aumento da área de exploração de água e nutrientes pela planta. É possível supor então, que devido a quantidade restrita de nutrientes no primeiro tratamento (1 dSm^{-1}) o Si promoveu o aumento do VR a fim de possibilitar as plantas de alface uma maior área de absorção nutricional, já que de acordo com Dalastra (2017) a baixa concentração de nutrientes na solução nutritiva no cultivo hidropônico pode acarretar deficiências nutricionais às plantas. Em experimento com a alface americana em cultivo hidropônico, Dalastra (2017) obteve maiores valores na parte radicular das plantas em soluções nutritivas mais concentradas, com CE de $1,8 \text{ dSm}^{-1}$.

Para a AF, onde o principal fator de interferência foi a CE da solução (Figura 10 B), os dados do presente trabalho corroboram os de Guerrero et al. (2011), onde os mesmos não observaram diferença significativa para o fator Si na cultura da rúcula quanto a AF, o que segundo os autores leva-se a crer que as plantas cresceram no mesmo patamar, embora tivessem sido cultivadas em condições diferentes. Da mesma forma, o sistema de cultivo hidropônico permite uma homogeneidade do ambiente no qual as culturas estão sendo cultivadas, inclusive por ser estabelecido em um local dito protegido, como casas de vegetação por exemplo. Corroborando essa informação, Maia (2019) também não registrou diferença estatística entre as cultivares estudadas quanto a AF em plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico, explicando o autor, que dessa forma tem-se um desenvolvimento foliar similar entre as mesmas.

É ainda importante ressaltar que a partir da AF, juntamente com as características observadas na figura 9 (C, D, E, F), percebe-se um desenvolvimento comercial aceitável das plantas de alface em sistema hidropônico, mesmo em CE reduzidas da solução nutritiva. Supõem-se ainda, que esses resultados podem ter sido influenciados por um destacado desenvolvimento radicular na CE de 1 dSm^{-1} (Figura 9 B).

Percebeu-se no entanto, que com o aumento da salinidade houve redução da AF, o que também foi observado por Sousa et al. (2018) estudando plantas de arroz submetidas a doses crescentes de salinidade. Os mesmos autores relataram que esse efeito ocorreu devido ao fato do estresse salino promover o fechamento dos estômatos foliares e redução na transpiração, o que acarreta diminuição na absorção de água e nutrientes pela planta, corroborando assim os dados apresentados na figura 8. Para Freitas et al. (2014) a diminuição na AF em detrimento ao aumento na CE se configura como sintoma inicial da planta sob estresse salino, ocorrendo devido a diminuição da divisão celular e da expansão da superfície foliar.

Todavia, os maiores valores dessa variável registrados em 1 dSm⁻¹ e 2 dSm⁻¹ (Figura 10 B) reflete na produção de compostos orgânicos essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, por ser as folhas o sítio que processa a energia luminosa para síntese de carboidratos através da fotossíntese (PEIXOTO et al., 2011; OLIVEIRA FILHO et al., 2020). Por consequência, pode ter aumentado a biomassa fresca em folha da cv. Veneranda nas mesmas condições (Figura 11 A), enquanto a MFR foi reduzida. Essa relação MFF/MFR indica que há produção de fotoassimilados na parte aérea das plantas em CE de 1 dSm⁻¹, mas esses compostos não estão chegando de forma eficiente às raízes (AGUIAR JÚNIOR et al., 2011). Segundo Coelho et al. (2014), a expansão da parte foliar requer uma maior quantidade de fotoassimilados, o que reduz sua translocação para outros órgãos da planta.

Da mesma forma, a CE elevada da solução nutritiva possibilitou a redução da MFF (Figura 11 A). Esse resultado também foi obtido por Sousa et al. (2020), onde com o aumento da CE da solução nutritiva, houve redução na MFF de alface, e dessa forma os autores ressaltaram que esse efeito ocorre porque em CEs elevadas a absorção de água e nutrientes é comprometida, o que reflete negativamente na produtividade da cultura. A resposta positiva da alface cv. Bruma à CE mais elevada, em situação de alta temperatura da solução nutritiva, também leva a crer que as respostas positivas da alface a essas condições estão relacionadas à cultivar (SOUSA et al., 2020). Sousa et al. (2020) observaram ainda, incremento da MFF de duas cultivares de alface, em cultivo hidropônico, até o limite de 1,31 dSm⁻¹, o que vai de encontro aos dados referentes a figura 11 A, onde percebeu-se que entre as CE de 1 dSm⁻¹ e 2 dSm⁻¹ não houve diferença significativa para MFF.

A MFF do presente trabalho também sofreu influência quando da aplicação de Si a solução nutritiva, corroborando com Machado (2020), o qual da mesma forma observou

resposta positiva à aplicação de Si em solução nutritiva, independente da salinidade, para a MFF de coentro e cebolinha. Semelhantemente Souza et al. (2018) registraram aumento da MFF de couve e acelga mediante aplicação de Si em seu cultivo, e relacionaram esse aumento ao fato do Si também ter favorecido o aumento na AP, corroborando assim com o presente trabalho onde se observou a mesma relação (Figura 9 A). Em contrapartida, Neves et al. (2020) registraram efeito negativo da adição do Si à cultura da alface, porém em detrimento ao aumento na dose desse elemento.

Em avaliação de plantas de alface submetidas à aplicação de silicato de cálcio ($\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$), Neves (2020) observou que esse nutriente foi capaz de aumentar a MFR. Para Lemos Neto (2019) o mesmo efeito foi produzido na aplicação de 0,4 mM de Si no cultivo de alfaces hidropônicas. Segundo este autor o efeito benéfico do Si quanto a biomassa da raiz está relacionado a um maior teor de água na planta, o que causa maior turgescência, por mais tempo, e esse efeito interfere diretamente no tempo de prateleira da hortaliça. Vale ressaltar que esse aumento identificado por Lemos Neto (2019) só se verifica até determinado ponto, na hipótese de altas concentrações de Si os teores de biomassa tanto foliar quanto radicular podem ser reduzidos, o que foi observado por Gonzaga et al. (2020) em estudo com plantas de alface submetidas a diferentes doses de Si.

Os resultados aqui apresentados diferiram de Guimarães et al. (2017b) quanto a análise da MFR de alfaces hidropônicas, onde o aumento no nível de salinidade da solução nutritiva não interferiu na biomassa radicular. Para Lemos Neto (2019) a MFR passou a decair a partir da concentração de $1,14 \text{ dSm}^{-1}$, o que também não pode ser observado no presente trabalho. Já para Santos et al. (2015) a MFR de alface americana aumentou de acordo com a salinidade.

Essas consequências também foram observadas nesta pesquisa, como o acúmulo de Na^+ em folhas e raízes com o aumento da CE (Figura 13 e 14), redução na absorção de água nos tratamentos de maior salinidade (Figura 8 E, F), e ainda, redução no acúmulo de fotoassimilados, sendo estes amenizados a partir da inclusão do Si, em alguns casos (Figura 15, 16 C, E e 17 A). Obtendo os mesmos resultados quanto à MSF de rúcula, em CEs variadas na água de irrigação, Santos et al. (2020) indicaram que o aumento na concentração de sais durante o cultivo de hortaliças prejudica a massa seca das culturas. Na cultura da alface, Santos et al. (2019) também observaram a redução da MSF em detrimento ao aumento nos níveis de salinidade na água de irrigação, sendo esse comportamento um indicativo de

aumento do status hídrico da planta, ou seja, uma capacidade de retenção de água muito maior.

Corroborando os dados apresentados na presente pesquisa, Gonzaga et al. (2020) também observaram incremento no teor de MSR na cultura do mini tomate mediante aplicação de Si em seu cultivo, explicando que esse resultado leva a crer que o Si promoveu melhor desenvolvimento radicular. Silva (2018) diz ainda que esse resultado é concomitante à diminuição da MSF, o que também está de acordo com os dados apresentados na figura 12 A, pois ocorre migração dos fotoassimilados da parte aérea para a região da raiz quanto a assimilação do Si. É interessante observar ainda, que as raízes aumentaram em volume (Figura 10 A) na CE de 1 dSm^{-1} , mas esse efeito não foi observado quanto à MSR, o que leva-se a detectar raízes mais finas.

Quanto a absorção de íons pelas folhas de plantas de alface hidropônicas o aumento da CE exerceu um maior efeito para a alface (Figura 13), já que para amenizar os efeitos e sobreviver em ambiente salino, as plantas utilizam diferentes estratégias, dentre elas a principal é a compartimentalização de íons no vacúolo, além de reduzir o transporte de íons Na^+ das raízes para a parte aérea (LEMOS NETO, 2019). Esse fato pode ter refletido nos resultados do presente trabalho, já que embora tenha ocorrido acúmulo de Na^+ na parte aérea (Figura 13 A), ainda assim a concentração nas raízes se apresentou mais elevada (Figura 13 C). Segundo Santos 2017, ao avaliar plantas de manjerição submetidas a estresse salino, o acúmulo de Na^+ nas folhas da cultura sugeriu ainda a ausência de mecanismos eficientes de exclusão do Na^+ após o processo de absorção, uma vez que o transporte deste cátion pela corrente transpiratória resultou em seu acúmulo na parte aérea das plantas. A autora também afirmou que esse maior acúmulo pode ocasionar efeitos tóxicos, entre eles a redução na AF vegetal (SANTOS, 2017), o que corrobora o presente trabalho ao se avaliar a figura 10 B. Entretanto, é importante ressaltar que essas alterações e respostas dos vegetais ocorrem a depender da cultivar, do estágio fenológico, do tempo de exposição e intensidade do estresse salino, manejo cultural e condições edafoclimáticas do local de cultivo (TAIZ et al., 2017).

O presente trabalho se assemelha aos resultados alcançados por Alves et al. (2018) em estudos com alfaces cultivadas em estresse salino, onde os mesmos verificaram que, com o aumento da CE os níveis de Na^+ aumentaram em folhas, assim como para os teores de Ca^{2+} . Segundo Malavolta (2006) a concentração ideal de Ca^{2+} em hortaliças folhosas é de $12,5 \text{ g kg}^{-1}$, e a deficiência pode provocar clorose nas extremidades das folhas. Dentro dos

tratamentos os teores de Ca^{2+} podem configurar uma resposta positiva para as plantas de alface hidropônicas estudadas, muito embora tenha-se registrado baixo teor desse nutriente nas folhas se levado em consideração dados de Malavolta (2006), e ainda o antagonismo existente entre Ca^{2+} e K^+ (SILVA e TREVIZAM, 2015). Segundo Andrade (2019) o acúmulo de Ca^{2+} em folhas de culturas hidropônicas configura-se como uma característica adaptativa a este meio de cultivo, já que a deficiência desse nutriente é um problema enfrentado pelos agricultores hidropônicos. Esse resultado mais uma vez traz em evidência a CE de 1 dSm^{-1} como eficiente para o cultivo hidropônico, haja vista a mesma não se diferenciar estatisticamente da 3 dSm^{-1} , a qual obteve os maiores valores para Ca^{2+} .

Já para a concentração de sais em raízes das alfaces hidropônicas (Figura 13), os resultados do presente trabalho se assemelham aos obtidos por Silva Júnior et al. (2017) em estudo com melancia submetida a estresse salino, onde os autores averiguaram diminuição nos teores de Na^+ em raiz, enquanto houve acréscimo nos teores de K^+ . Esse resultado se dá devido ao antagonismo que existe entre esses dois íons (SILVA et al., 2015). Para Na^+ em sistema radicular de plantas de arroz estudadas por Silva (2015) os aumentos nos níveis deste íon foram ainda mais significativos sob estresse salino, sendo em média três vezes superiores aos do tratamento controle. Esse mesmo desempenho foi constatado em outras culturas na literatura, como no sorgo (SILVA et al., 2014) e algodão (FREITAS et al., 2011).

Farias (2008) afirma ainda que a diminuição do teor de K^+ em ambientes salinos, constitui-se um complicador adicional para o desenvolvimento das plantas, uma vez que, em algumas situações, este íon, é o principal nutriente responsável pela manutenção de um elevado potencial osmótico nas raízes, e esta é uma estratégia fundamental para a absorção de água e manutenção dos tecidos hidratados sob condições salinas, o que pode explicar o menor consumo hídrico pelas plantas de alface na CE de 3 dSm^{-1} (Figura 8 E, F). Possivelmente, a redução nos teores de K^+ devem-se a exposição direta das raízes ao sal, o que provocou alterações na integridade e permeabilidade seletiva da membrana plasmática ao K^+ (MANSOUR e SALAMA, 2004).

Essa diminuição nos teores de K^+ nas raízes pode dessa forma, ter prejudicado o ajustamento osmótico das plantas de alface, refletindo assim na concentração de carboidratos em folhas, onde notou-se uma redução em detrimento ao aumento da salinidade (Figura 14 A, B). Segundo Lacerda et al. (2001) o aumento nos teores de carboidratos vegetais está relacionado à manutenção do equilíbrio osmótico na célula. Simões et al. (2019) observaram

resultado semelhante em duas variedades de cana-de-açúcar, dissertando que, o alto nível de salinidade pode prejudicar o transporte via floema de carboidratos para a parte aérea vegetal. Menezes et al. (2017) também afirmaram que esse efeito ocorre devido a ausência de ajustamento osmótico.

Outra possível explicação se dá ainda, levando-se em consideração a redução na AF a medida em que a concentração salina da solução nutritiva foi elevada (Figura 10 B). De acordo com Gomes et al. (2011) a redução da AF em plantas submetidas a estresse salino também afetou o processo fotossintético, haja vista o mesmo depender da interceptação de luz e conversão em energia química pelas folhas, atuando na formação de carboidratos que são então, alocados para os órgãos vegetativos e reprodutivos das plantas.

Em relação às raízes, o aumento de sacarose em detrimento ao aumento da CE pode ser considerado como mecanismo de ajustamento osmótico mediante baixo potencial hídrico presente (ASHRAF et al., 2011). Em contrapartida, Buchelt (2019) relatou que quando esse aumento é promovido pelo Si, se torna importante para o crescimento de raízes sob estresse.

Todavia, é possível observar que embora as alfaces hidropônicas estejam produzindo fotoassimilados nos seus tecidos fontes em decorrência de uma maior AF na CE de 1 dSm^{-1} , e enviando para os tecidos drenos das raízes, essa translocação não ocorre de forma eficiente e a folha acaba por assimilar a maior parte. Acredita-se que esse acúmulo de açúcares seja reflexo de uma compensação da planta pela baixa concentração de nutrientes pela qual está sendo submetida. Essa síntese de carboidratos estimula assim, uma maior translocação de água, como observado na figura 8 (A, B). Segundo Ainsworth e Bush (2010) quando a translocação de sacarose a partir das folhas torna-se inibida, ocorre acumulação de açúcares no vacúolo celular desses órgãos. Esse efeito aumenta a pressão de turgor nas células, resultante do aumento na absorção de água pela planta através de processo osmótico (AINSWORTH e BUSH, 2010).

Foi possível ainda, observar redução na concentração dos teores protéicos em folha de alface hidropônica a partir da aplicação de Si, referente às figuras 15 (A e B) e 16 (A e B). Dentro desse contexto, em estudo com plantas de milho sob estresse hídrico e tratadas com diversas doses de Si, Neves et al. (2012) perceberam redução em PT quando da aplicação de $0,5 \text{ mM}$ de Si em seus tratamentos. Esses resultados corroboram a presente pesquisa, pois os autores relatam que esse fato ocorreu devido ao aumento na atividade de enzimas proteolíticas, as quais quebram as proteínas de reservas das plantas, e também reduzem a

síntese das mesmas. Neves (2020) também observou redução nos teores de PT, dessa vez para plantas de alfaces cultivadas com Si, o que também está de acordo com a presente pesquisa, muito embora essa redução só tenha sido registrada a partir do 27º dia de aplicação do elemento (NEVES, 2020).

Já para o comportamento dos AALT, Souza et al. (2014) registraram resultados semelhantes aos do presente trabalho quando da avaliação de plantas de milho sob déficit hídrico e tratadas com diferentes doses de Si, onde os mesmos observaram redução em AALT em detrimento a aplicação de Si na cultura e relacionaram esse fato ao comportamento do Si em formar uma dupla camada de sílica na epiderme celular. Segundo os autores, essa característica impede a perda de água, podendo então evitar a quebra das proteínas e consequentemente a formação de AALT (SOUZA et al., 2014).

Todavia, o que se sabe é que a mobilização do Si na planta é muito baixa, se tornando até mesmo imóvel no floema (DATNOFF et al., 2001), o que se leva a crer que provavelmente o mesmo não estava chegando de forma eficiente à parte aérea, por ser fornecido diretamente na solução nutritiva. Se avaliarmos a figura 15 (A e B) de forma isolada é possível observar, através dos valores expressos em gráfico, que há produção de proteínas, muito embora, não da forma esperada.

Em relação ao efeito redutor do Si sobre os teores de PRO na parte aérea (Figura 16 B), os resultados se assemelham a Santos et al. (2010) quando a autora observou em seu estudo resposta semelhante em relação ao genótipo de sorgo CSF 20 para o conteúdo desse aminoácido. É possível que essa resposta indique que o Si estivesse reduzindo o nível de estresse salino em que as plantas estavam sendo submetidas, já que a PRO tem sido considerada um marcador bioquímico de estresse (SANTOS et al., 2010)

Porém, é necessário se levar em consideração que a ação do Si no metabolismo bioquímico da alface ainda é pouco conhecida, sendo necessária uma maior compreensão da ação desse elemento nos teores de proteínas vegetais (NEVES et al., 2020). Quanto à resposta ao aumento nos níveis de CE (Figura 17 A), os resultados corroboram Kibria et al. (2017), os quais registraram redução no acúmulo de PRO em genótipos de arroz sensíveis à salinidade. Semelhantemente, a cultura da alface é considerada “moderadamente sensível a salinidade”, de acordo com Oliveira et al. (2011). Dessa forma, para Cardoso et al. (2019) em condições de alta salinidade a síntese de PRO é reduzida ou ocorre a maior degradação desse aminoácido.

Nas raízes das alfaces hidropônicas estudadas foram observados efeitos inversos ao da parte aérea para a concentração de PT e PRO, onde esses osmólitos foram aumentados em detrimento da adição de Si à solução nutritiva (Figura 15 C, D e E). Esse efeito pode ser reflexo da imersão e contato direto das raízes à solução contendo Si, intensificando o seu efeito, já que a alface é uma cultura não acumuladora de Si. Em estudo com plantas de girassol submetidas a estresse salino e tratadas com Si, Conceição et al. (2019) observou aumento nos teores de PT em raízes ao se adicionar Si e explica que esse elemento age como indutor da síntese de RNAm, o que consequentemente eleva a concentração protéica (AL-AGHABARY et al., 2004). A redução nos teores de AALT pode ainda ser considerado resultado da sua utilização na síntese de novas proteínas (ROCHA et al., 2012). Todavia, para os teores de PRO nas raízes, os dados mostraram-se de acordo com Conceição (2015), onde a mesma obteve resultado semelhante aos do presente estudo, mas para a cultura do girassol, registrando aumento nos teores de PRO quando adicionado Si ao meio de cultivo. Esse acúmulo de PRO é considerado uma característica de sensibilidade à salinidade, demonstrando que o Si pode ter induzido a biossíntese de prolina como tentativa de aclimação ao estresse, mas não aumentou a tolerância ao mesmo (HANNACHI e VAN LABEKE, 2018).

4.3 Resultados

2º Experimento: Avaliação da relação Si/N na solução nutritiva em cultivo hidropônico de plantas de alface

No segundo experimento, assim como no 1º, monitorou-se o consumo hídrico e de nutrientes, além da temperatura da solução nutritiva, nas alfaces hidropônicas submetidas a doses decrescentes de KNO_3 , como fonte de N na solução. Para a temperatura da solução nutritiva registrou-se valores médios entre 29,3 - 30,5 °C (Figura 17), onde os tratamentos que receberam 0,4 mM de Si se mostraram com temperaturas abaixo dos tratamentos sem a suplementação do elemento, com média de 29,5 °C, independente da concentração de KNO_3 na solução (Apêndice B).

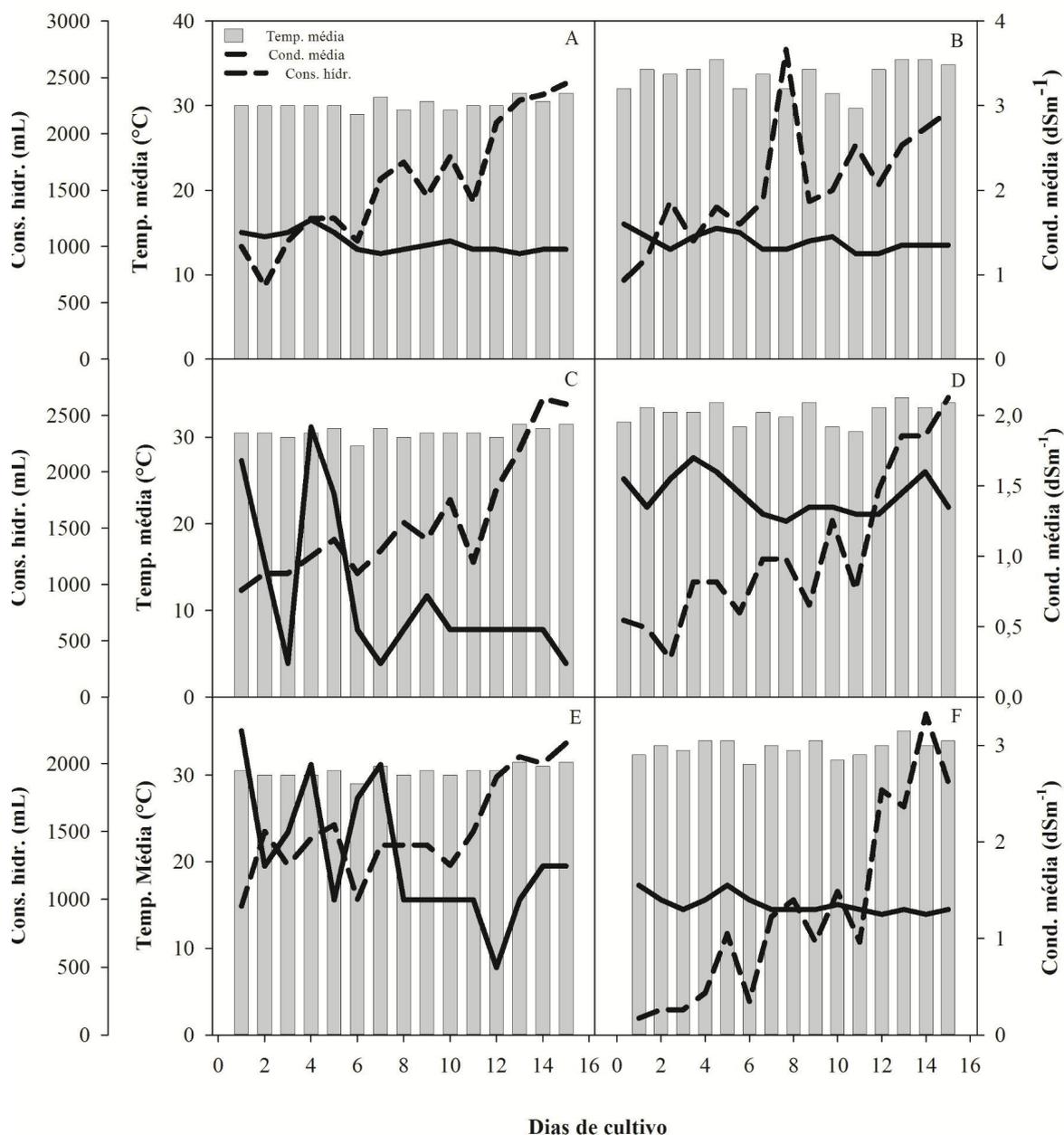


Figura 17: Monitoramento diário da solução nutritiva em relação ao consumo hídrico (mL), temperatura da solução (°C) e condutividade elétrica (dSm⁻¹). (A) tratamento KNO₃ 0,05 sem Si; (B) tratamento KNO₃ 0,05 com Si; (C) tratamento KNO₃ 0,04 sem Si; (D) tratamento KNO₃ 0,04 com Si; (E) tratamento KNO₃ 0,03 sem Si; (F) tratamento KNO₃ 0,03 com Si

Em relação ao consumo nutricional, representado pela leitura diária da CE da solução, os tratamentos suplementados com Si mostraram um consumo de forma constante durante os dias de experimento, não ultrapassando $1,7 \text{ dSm}^{-1}$. No entanto, ao avaliar os tratamentos com concentrações de $0,04 \text{ M}$ e $0,03 \text{ M}$ de KNO_3 , sem a adição de Si, foi possível perceber uma maior variação no consumo de nutrientes a cada leitura diária, onde as médias se mantiveram entre $1,2 - 1,5 \text{ dSm}^{-1}$ em cada tratamento (Apêndice B), embora de forma geral, não tenha ocorrido diferenças extremas no consumo de nutrientes entre todos os tratamentos.

Quando da análise do consumo hídrico observou-se que as plantas de alface hidropônicas estudadas consumiram mais água em detrimento aos dias de experimento, ou seja, aumentando o consumo à medida em que cresciam e se desenvolviam, apresentando médias de consumo entre $1540 - 1563 \text{ mL}$ (Apêndice B). Porém, avaliando os tratamentos na figura 17 de forma individual, verifica-se que para os que receberam suplementação silicatada, as alfaces consumiram em média menos água, mesmo no início do experimento, quando as plantas haviam saído da fase de berçário, com tamanho menor.

Para as análises morfológicas vimos que, na avaliação da AP de alface hidropônica, foi possível perceber que não houve interferência do Si nos tratamentos, havendo diferença significativa apenas para as concentrações de KNO_3 estudadas (Figura 18). A adição de $0,05 \text{ M}$ de KNO_3 na solução nutritiva, considerada a ideal segundo Furlani (1999), apresentou os maiores valores para a variável ($18,6 \text{ cm}$), com um decréscimo de $9,7 \%$ quando se reduziu a concentração para $0,04 \text{ M}$ ($17,56 \text{ cm}$), porém, não havendo diferença estatística da concentração de $0,03 \text{ M}$ ($17,93 \text{ cm}$) com as demais concentrações (Figura 18 A).

Já na análise de DC, observou-se que não houve interferência do fator concentração de KNO_3 , o que significa dizer que, a redução nas doses de KNO_3 na solução nutritiva foi irrelevante para determinar essa variável. Porém, a adição de Si na solução nutritiva possibilitou o acréscimo de 25% na referida análise, em relação às plantas sem a adição de Si, com uma média de 40 cm (Figura 18 B).

Para o NFT das alfaces hidropônicas avaliadas houve interação significativa entre os fatores estudados. O Si promoveu decréscimo de 32% e 23% no NFT das alfaces nas concentrações de 0,05 M e 0,04 M de KNO_3 respectivamente, embora não tenha sido observado diferença significativa na concentração de 0,03 M quanto a adição do elemento. Em relação a redução na concentração de KNO_3 , houve aumento de 9% quando se reduziu a concentração máxima de KNO_3 ($19,7 \text{ planta}^{-1}$) para 0,03M ($21,6 \text{ planta}^{-1}$) ao se adicionar Si, não diferindo estatisticamente do tratamento com concentração de 0,04M ($21,6 \text{ planta}^{-1}$). Este tratamento, sem a presença do Si, foi o maior em NFT para a cultura estudada ($23,7 \text{ planta}^{-1}$), enquanto que na concentração de 0,05M com Si encontrou-se o menor NFT ($19,7 \text{ planta}^{-1}$) (Figura 18 C).

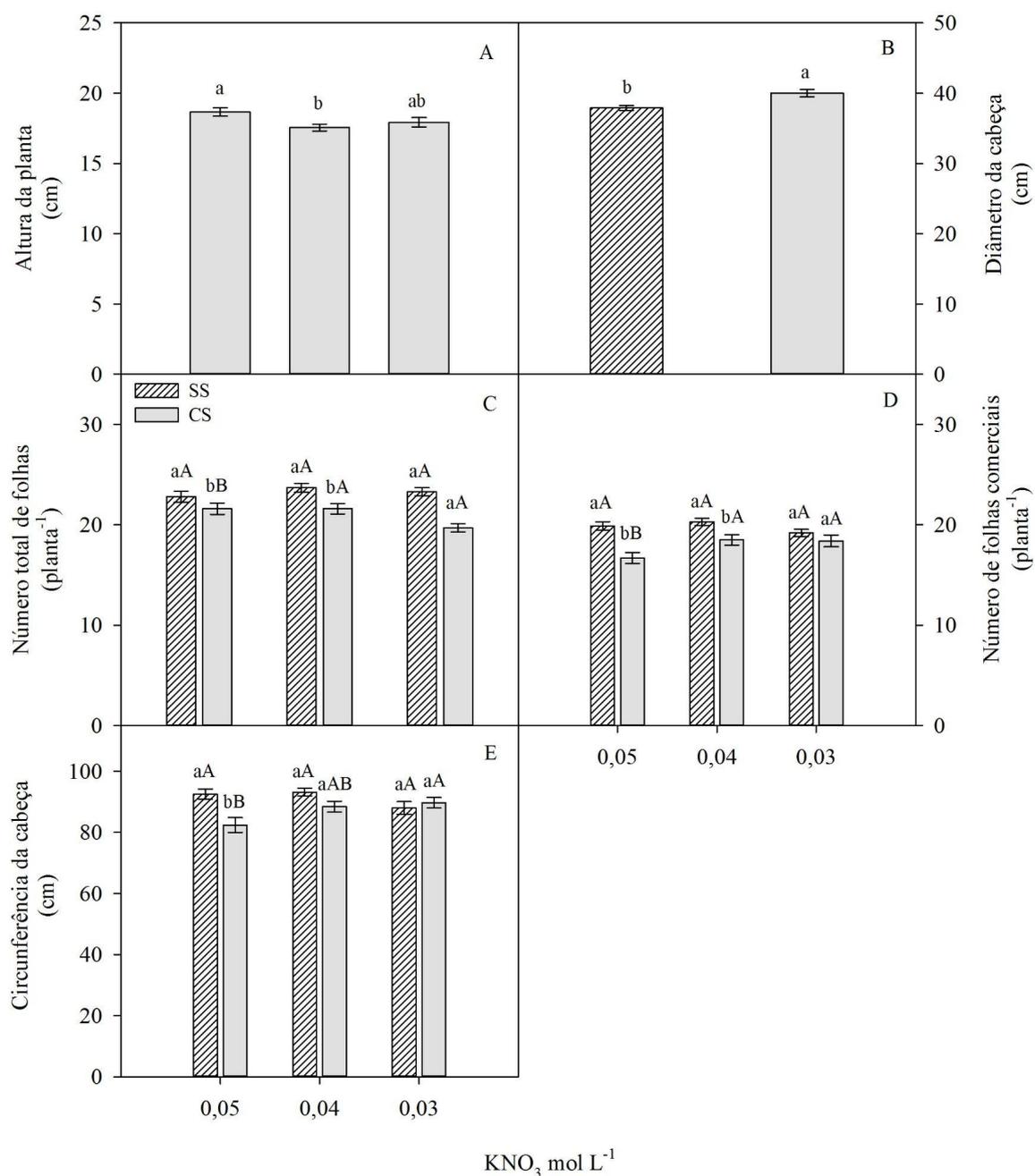


Figura 18: Características morfológicas das alfaces cultivadas em sistema hidropônico. (A) altura da planta (cm); (B) diâmetro da cabeça (cm); (C) número de folha comercial (planta^{-1}); (D) número de folha total (planta^{-1}); (E) circunferência da cabeça (cm). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO_3 , e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO_3 .

Resultados semelhantes foram registrados para o NFC, onde os maiores valores para a variável ocorreram na concentração de 0,04M de KNO_3 (20,3 planta⁻¹) sem a presença de Si, e os menores valores na concentração de 0,05M de KNO_3 (16,7 planta⁻¹) com a presença do Si. Houve ainda acréscimo de 25% na variável quando se reduziram as concentrações de KNO_3 de 0,05M (16,7 planta⁻¹) para 0,03M (18,4 planta⁻¹) na presença do Si. Além disso, nas concentrações de 0,05M e de 0,04M de KNO_3 ao se adicionar Si, o NFC decresceu 36,3% e 27,2%, respectivamente (Figura 18 D).

Houve interação significativa entre as concentrações de KNO_3 na solução nutritiva e a suplementação com a fonte de Si para a CC. Na concentração de 0,05 M de KNO_3 a adição de Si em solução nutritiva reduziu a CC das alfaces hidropônicas de 92,5 cm para 82,4 cm, um representativo decréscimo de 34,6%. Nas demais concentrações de KNO_3 não houve diferença significativa quanto a variável estudada na presença de Si. Todavia, a adição de 0,4 mM de Si, possibilitou o aumento de 14% na CC da alface hidropônica a medida em que decresceu a concentração de KNO_3 da solução de 0,05M (82,4 cm) para 0,03M (89,7 cm), não diferindo estatisticamente esse resultado do encontrado na solução com 0,04 M de KNO_3 (88,4 cm), que por sua vez não diferiu do tratamento com 0,05 M de KNO_3 (Figura 18 E).

A AF das alfaces hidropônicas estudadas não sofreu diferença significativa com a redução na concentração de KNO_3 na solução nutritiva, nem a adição de Si influenciou em seu comportamento. Já para o VR das alfaces hidropônicas percebeu-se interação significativa entre os fatores. Foi possível observar que mais uma vez a concentração de 0,05 M de KNO_3 na solução se diferenciou das demais, onde a utilização do Si como suplementação nutricional acarretou no decréscimo do VR em 66%, mas não causando esse mesmo efeito nas demais concentrações. Avaliando o comportamento do Si nesta variável, a sua presença levou ao aumento em 20% do VR das alfaces hidropônicas, a medida em que se reduziu a concentração de KNO_3 de 0,05 M (35,05 mm³) para 0,03 M (43 mm³), não diferindo este resultado da concentração de 0,04 M (46 mm³). No entanto, vemos que os maiores valores em VR encontram-se nas concentrações de KNO_3 que não foram suplementadas por Si (49,5 mm³, 47 mm³ e 47 mm³) em ordem decrescente de concentração (Figura 19).

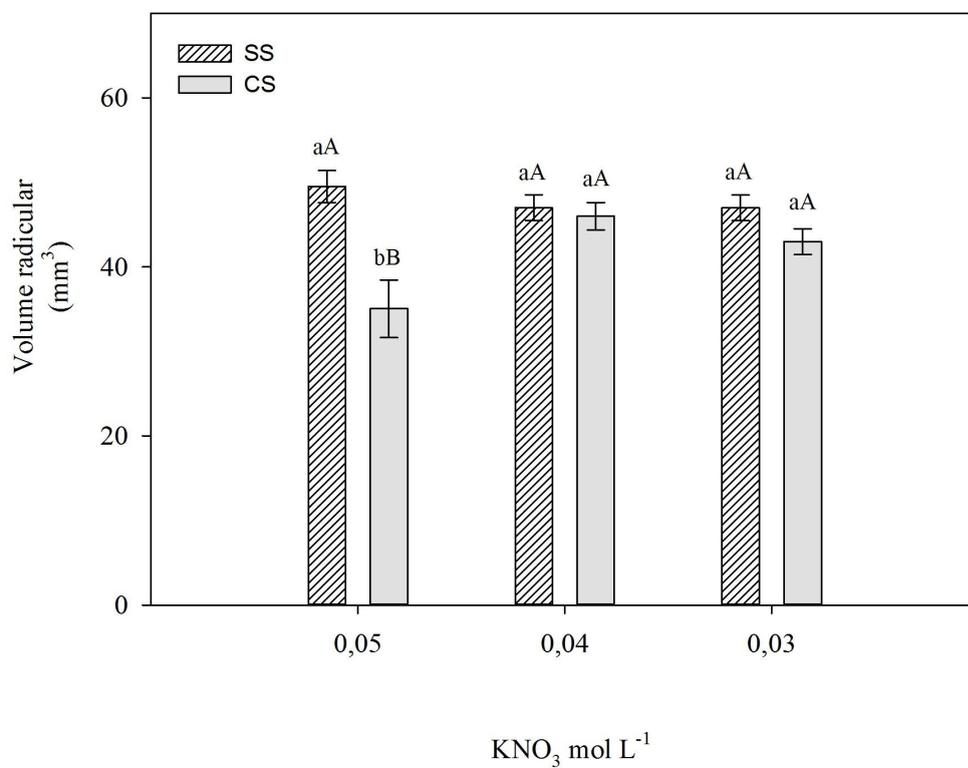


Figura 19: Volume da raiz (mm³) de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO₃, e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO₃.

Ao se avaliar a MFF das alfaces hidropônicas, foi possível constatar efeito significativo apenas da adição de Si à solução nutritiva, por meio da qual ocorreu redução em 23% na MFF, sendo o tratamento com 0,05M de KNO_3 sem a adição de Si o de maior valor para a variável (151g) (Figura 20 A). Em contrapartida, avaliando-se a MSF dos espécimes estudados, observou-se efeito significativo tanto para a concentração de KNO_3 , quanto para adição de 0,4 mM de Si na solução nutritiva. Nas concentrações de 0,05 M e 0,04 M houve redução de 26% e 19,8%, respectivamente, ao se adicionar Si à solução. Para a concentração de 0,03 M o Si não promoveu efeitos na MSF, porém houve redução de 18% quando se reduziu a concentração de KNO_3 na solução nutritiva de 0,04 M para 0,03 M sem a presença do Si. O maior conteúdo de MSF foi registrado para a concentração de 0,04 M sem a adição do Si (9,98 g) (Figura 20 B).

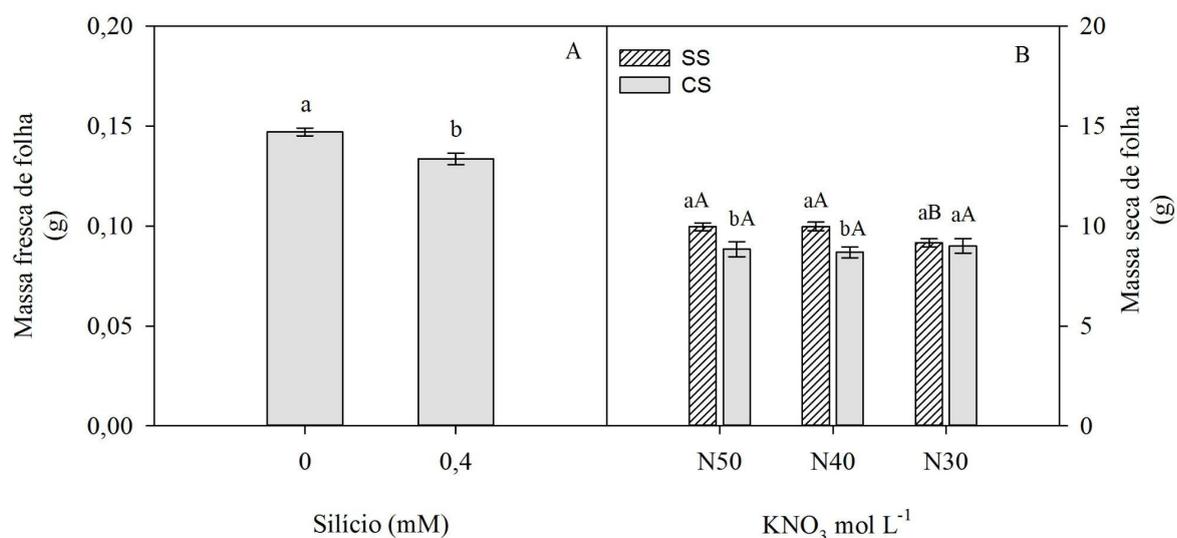


Figura 20: Biomassa total de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. (A) Massa fresca de folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (g); (B) massa seca de folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (g). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO_3 , e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO_3 .

Efeito que merece atenção é quanto a MFR e MSR do sistema radicular das alfaces hidropônicas estudadas, com médias de 47 g e 3,8 g respectivamente, onde a análise estatística resultou em ausência de efeito significativo para essa variável em relação a concentração de KNO_3 e de 0,4 mM de Si na solução nutritiva. Da mesma forma, não foi possível constatar efeito estatístico significativo nos DM de folha e raiz, assim como para o %U quando da redução na concentração de KNO_3 e da adição de 0,4 mM de Si à solução nutritiva, permanecendo essas variáveis com médias de 83,6%, 43,8% e 95,8%, respectivamente.

No entanto, para a análise do CRA foi possível constatar que não houve influência do fator Si nos resultados, mas da concentração do KNO_3 adicionado a solução nutritiva, onde as plantas de alface hidropônica obtiveram melhor CRA na concentração de 0,04 M, com média de 26,2%, enquanto as concentrações de 0,05 M e 0,03 M não diferiram estatisticamente entre si com valores de 25,7% e 25,6% respectivamente (Figura 21).

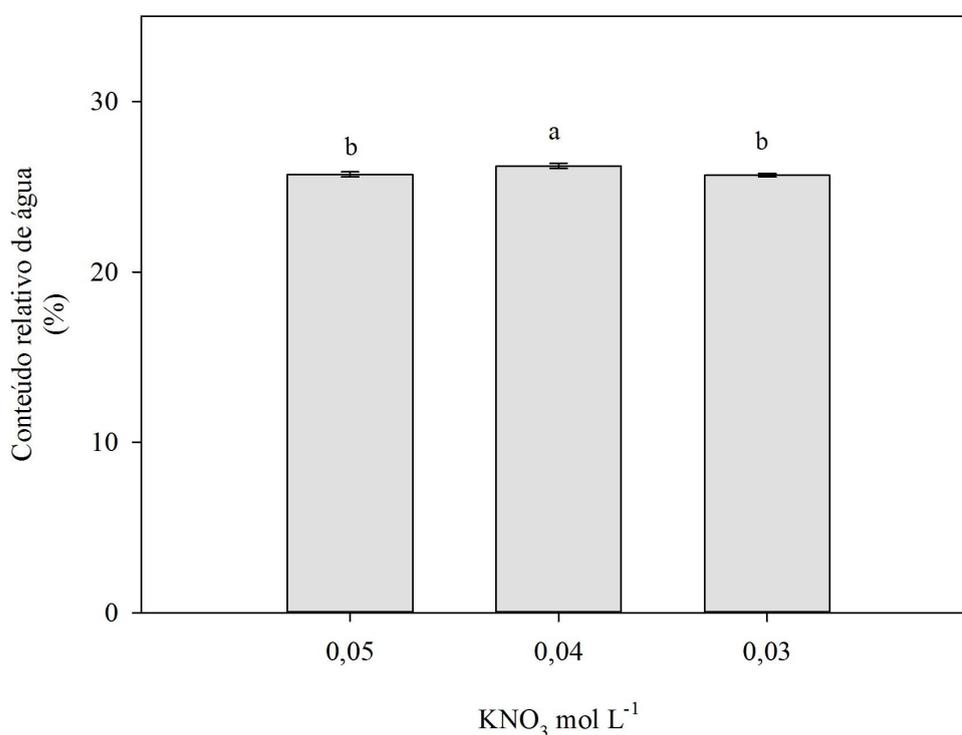


Figura 21: Conteúdo relativo de água (%) em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A concentração de íons nos órgãos vegetais das alfaces estudadas também foi analisada, onde observou-se que as concentrações de K^+ e Ca^{2+} não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos na parte aérea da alface. O K^+ permaneceu com uma média de $1,064 \mu\text{mol g}^{-1}$ e o Ca^{2+} com $0,192 \mu\text{mol g}^{-1}$. Não se identificou interação entre os fatores Si e concentração de KNO_3 na solução nutritiva. Porém, ao avaliarmos a concentração de Na^+ foi possível perceber a interação entre os fatores estudados. Nas concentrações de 0,05 M ($0,244 \mu\text{mol g}^{-1}$) e de 0,03 M ($0,202 \mu\text{mol g}^{-1}$) observou-se que a adição de Si à solução nutritiva possibilitou um aumento de 15% e de 21% respectivamente, nos teores de Na^+ em folhas. Com a redução na concentração de KNO_3 os teores de Na^+ na parte aérea dos vegetais reduziram em 30% sem a adição do Si, porém, ao se adicionar o nutriente na solução diante o déficit de KNO_3 , registrou-se uma redução de 34%. Na concentração de 0,04 M ($0,209 \mu\text{mol g}^{-1}$) a adição de Si à solução nutritiva não diferiu das concentrações de 0,05 M e 0,03 M (Figura 22 D).

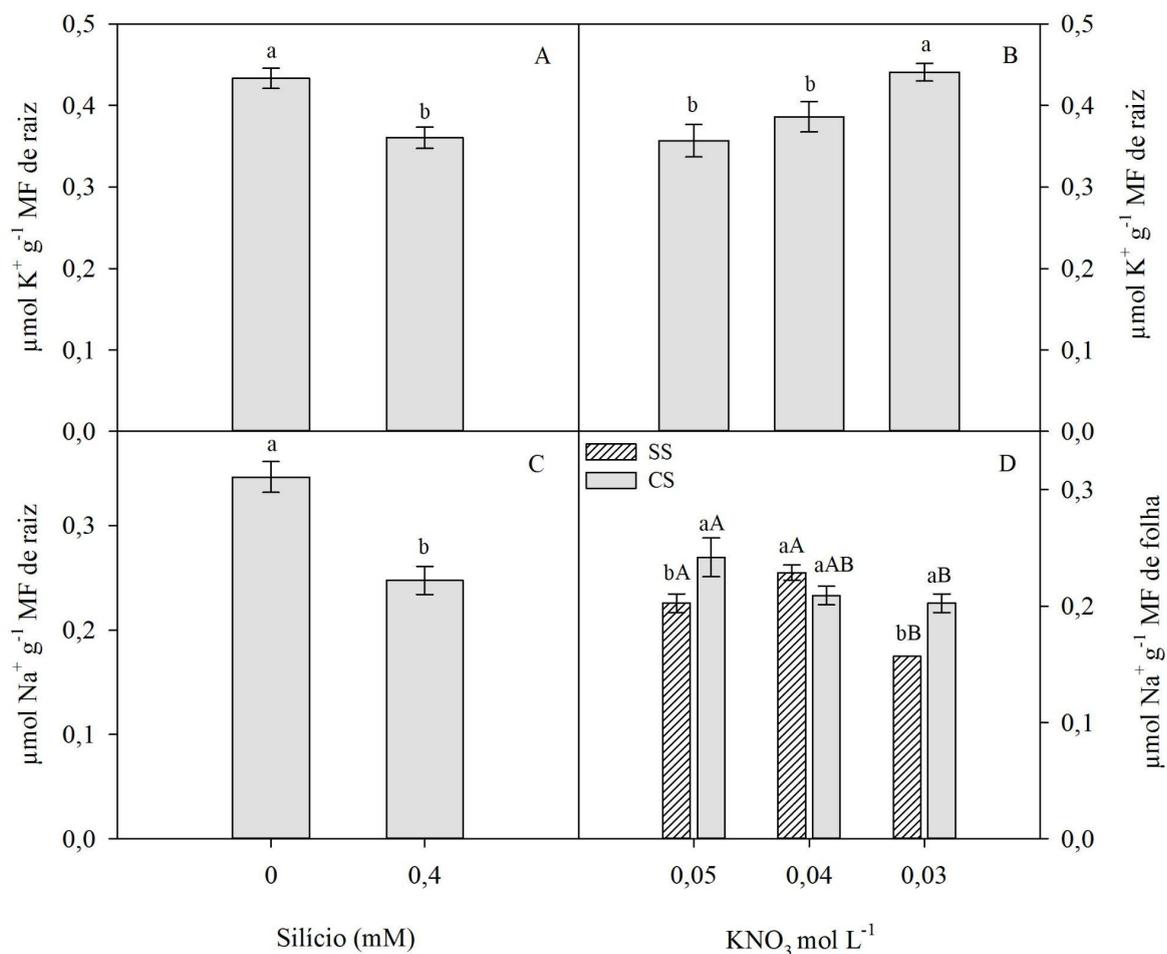


Figura 22: (A, B) Teores de K^+ em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico; (C) teores de Na^+ em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico; (D) teores de Na^+ em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO_3 , e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO_3 .

Para os teores de sais nas raízes das alfaces hidropônicas, percebeu-se que não houve interação significativa entre os fatores estudados quando avaliado os teores de Ca^{2+} nas raízes, permanecendo em uma média de $0,095 \mu\text{mol g}^{-1}$. Para os teores de K^+ houve diferença significativa entre os tratamentos, porém sem interação entre os fatores estudados. A adição de Si à solução nutritiva promoveu redução no teor desse íon em 44% ($0,360 \mu\text{mol g}^{-1}$) nas raízes das alfaces estudadas. Porém, quando se reduziu as concentrações de KNO_3 de $0,05 \text{ M}$ ($0,363 \mu\text{mol g}^{-1}$) para $0,03 \text{ M}$ ($0,440 \mu\text{mol g}^{-1}$) ocorreu um aumento em 20% nas concentrações de K^+ . Já em relação a concentração de $0,04 \text{ M}$ ($0,386 \mu\text{mol g}^{-1}$) a mesma não diferiu da concentração de $0,05 \text{ M}$ quanto aos teores de K^+ em raízes (Figura 22 A, B).

Avaliando-se os teores de Na^+ nas raízes, percebeu-se que as concentrações de KNO_3 não estabeleceram relação direta com a adição do Si. Mesmo assim, este último fator promoveu efeito significativo nos tratamentos, provocando uma redução de 65% no íon Na^+ em raízes de alfaces hidropônicas ($0,360 \mu\text{mol g}^{-1}$) (Figura 22 C).

Houve interação entre os fatores Si e concentração de KNO_3 quando analisados os teores de AST nas folhas das alfaces hidropônicas avaliadas. Em relação às concentrações de KNO_3 , no tratamento $0,03 \text{ M}$ a adição de Si à solução nutritiva aumentou em 12% o nível de AST nas folhas, enquanto nas demais concentrações não ocorreram diferenças significativas nos resultados em relação a aplicação de Si. Contudo, se analisarmos o comportamento do Si entre as concentrações de KNO_3 , é possível perceber que, com a redução nas mesmas, sem a suplementação silicatada, os valores de AST tiveram redução de 51% entre a concentração de $0,04 \text{ M}$ ($18,9 \mu\text{g g}^{-1}$) e $0,03 \text{ M}$ ($13,6 \mu\text{g g}^{-1}$) de KNO_3 , mas não diferindo estas do tratamento $0,05 \text{ M}$ ($17,2 \mu\text{g g}^{-1}$) (Figura 23 A). Os teores de ART não sofreram influência significativa dos tratamentos aplicados no presente trabalho. Já para os ANR houve diferença significativa entre os tratamentos apenas para o fator Si. Para essa análise foi possível perceber que a adição de $0,4 \text{ mM}$ de Si à solução nutritiva possibilitou o aumento de 62% nos níveis de ANR nas folhas de alface hidropônico (Figura 23 B).

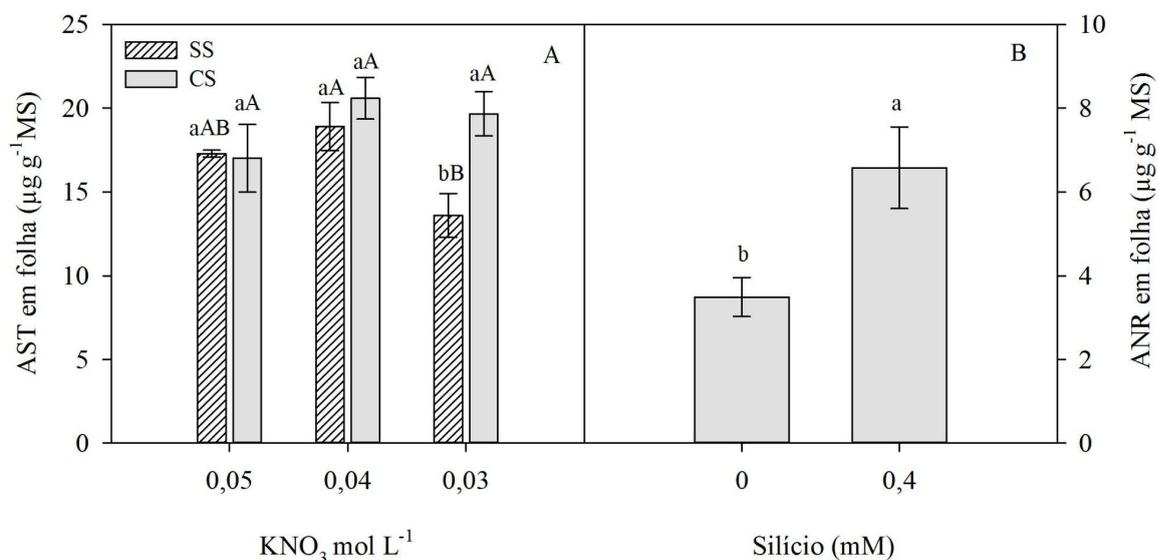


Figura 23: Teores de açúcares em plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. (A) açúcares solúveis totais em folha de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (AST); (B) açúcares não redutores em folha de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (ANR). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO_3 , e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO_3 .

Foram avaliados também os teores de carboidratos nas raízes das alfaces cultivadas em sistema hidropônico. Para os AST apenas o fator concentração de KNO_3 apresentou efeito significativo nos tratamentos, onde foi possível observar um decréscimo de 63% em detrimento a redução de 0,05M ($12,8 \mu\text{g g}^{-1}$) para 0,03M ($10,4 \mu\text{g g}^{-1}$) na solução nutritiva, porém não diferindo da concentração de 0,04 M ($9,5 \mu\text{g g}^{-1}$) (Figura 24 C). Ao se avaliar os ART verificou-se que não houve interação entre os fatores analisados, mas de forma individual os mesmos causaram efeito significativo nos tratamentos. A redução na concentração de KNO_3 de 0,05M ($8 \mu\text{g g}^{-1}$) para 0,03M ($4,5 \mu\text{g g}^{-1}$) provocou decréscimo de 95% nos ART das raízes, em contrapartida a suplementação silicatada na solução nutritiva permitiu um aumento de 61% em ART ($8 \mu\text{g g}^{-1}$) (Figura 24 A e C).

Registrou-se ainda interação significativa entre os fatores avaliados, para os ANR em raízes de alface hidropônica. Nas concentrações de 0,04 M e 0,03 M de KNO_3 houve diferença significativa entre os tratamentos quando adicionado suplementação silicatada à solução nutritiva, resultando em redução nos teores de ANR na ordem de 89% para a concentração de 0,04M ($7,2 \mu\text{g g}^{-1}$) e 82% para a concentração de 0,03 M ($8,2 \mu\text{g g}^{-1}$), enquanto que para a concentração de 0,05 M ($8,8 \mu\text{g g}^{-1}$) não foi observado esse efeito. Foi possível registrar ainda que na ausência do nutriente SiO_2 os ANR aumentaram do tratamento com 0,05M ($5,7 \mu\text{g g}^{-1}$) para 0,04 M ($11,9 \mu\text{g g}^{-1}$) na ordem de apenas 6%, enquanto que deste para a concentração de 0,03 M ($8,8\mu\text{g g}^{-1}$) houve redução de 57% (Figura 24 D).

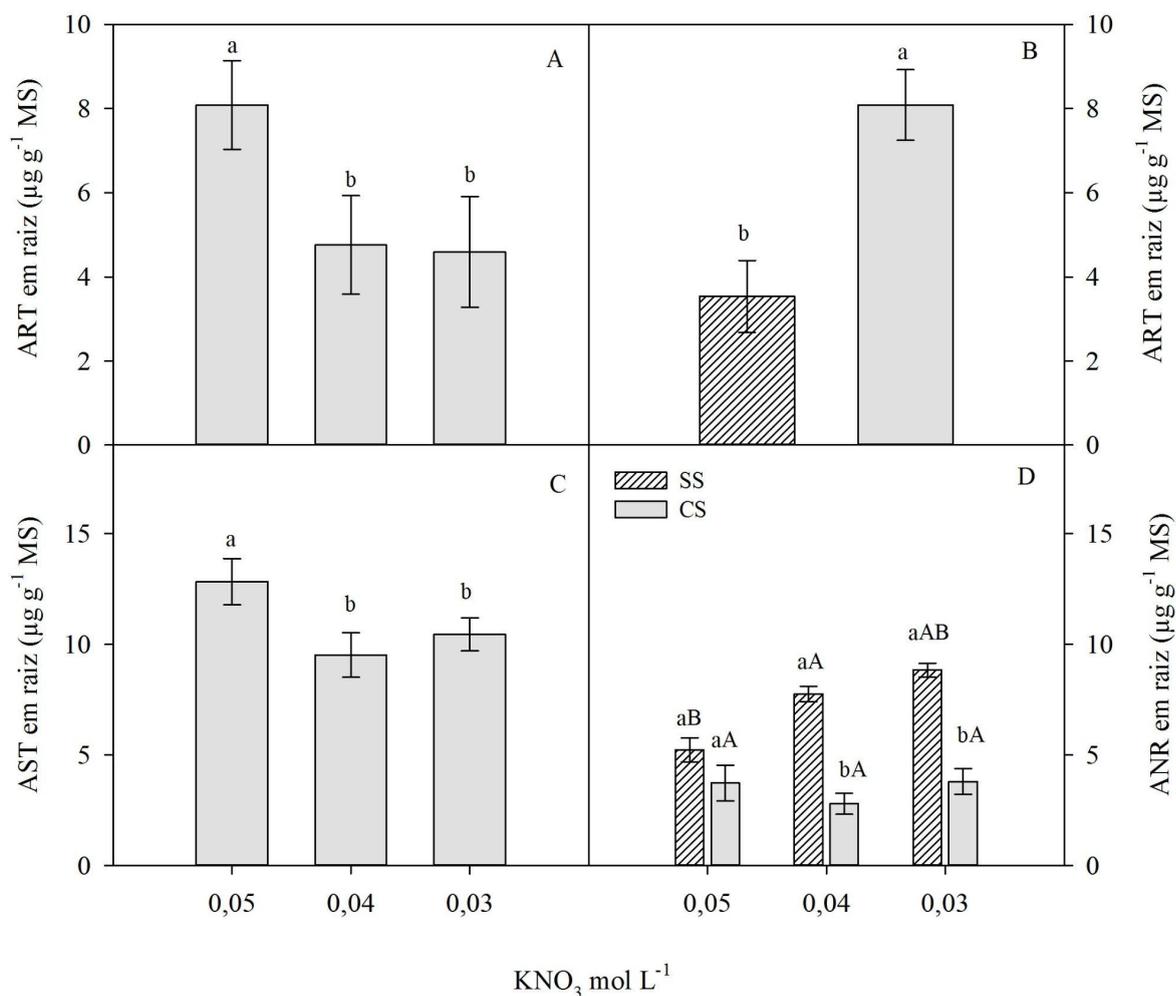


Figura 24: Teores de açúcares em plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. (A, B) açúcares redutores totais em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (ART); (C) açúcares solúveis totais em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (AST); (D) açúcares não redutores em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (ANR). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO_3 , e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO_3 .

Não foi observada interação entre os fatores Si e concentração de KNO_3 quando avaliado os teores protéicos em folha de alface hidropônica, mesmo assim, a presença de Si na solução nutritiva gerou efeito significativo para os teores de PT e PRO nos espécimes estudados. A suplementação silicatada resultou em um acréscimo de 41% nos teores de PT ($0,060 \text{ mg g}^{-1}$), em contrapartida reduziu em 73% ($1,604 \text{ } \mu\text{mol g}^{-1}$) (Figura 25 A) os teores de PRO nas folhas de alface hidropônica (Figura 25 B). Não foram registradas interações e efeitos significativos dos fatores concentração de KNO_3 e Si para os teores de AALT ($44,151 \text{ } \mu\text{mol g}^{-1}$) em folhas.

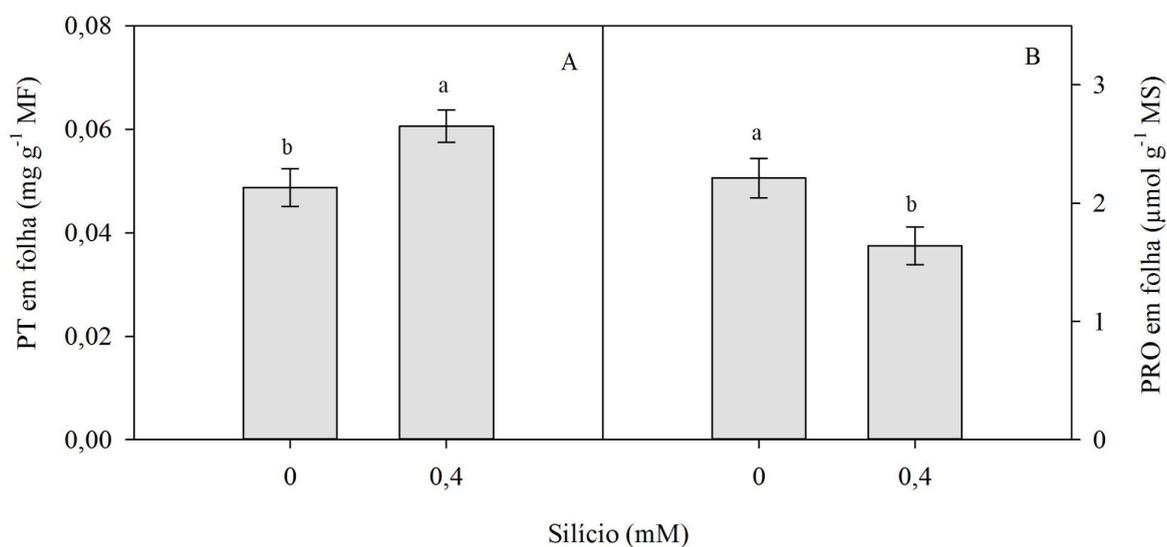


Figura 25: (A) Proteínas totais em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (PT); (B) prolina total em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (PRO). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas raízes das alfaces hidropônicas estudadas não houve interação significativa entre os tratamentos impostos em PT e AALT, obtendo valores de 0,098 $\mu\text{mol g}^{-1}$ e 71,958 $\mu\text{mol g}^{-1}$, respectivamente, embora tenha sido observado interação e influência significativa para PRO. Não houve diferença estatística significativa quanto a adição de Si dentro das concentrações de KNO_3 . Entretanto, observou-se que o mesmo acarretou acréscimo de 10% nos teores de PRO quando a concentração de KNO_3 foi reduzida de 0,05 M (2,137 $\mu\text{mol g}^{-1}$) para 0,03M (3,522 $\mu\text{mol g}^{-1}$). Ressalta-se ainda, que nos tratamentos que não receberam a suplementação silicatada os teores de PRO aumentaram 34% em detrimento a redução da concentração de KNO_3 de 0,05M (2,446 $\mu\text{mol g}^{-1}$) para 0,04M (3,274 $\mu\text{mol g}^{-1}$), mas voltando a reduzir em 48% na concentração de 0,03M (3,065 $\mu\text{mol g}^{-1}$), não diferindo esta estatisticamente das demais concentrações (Figura 26).

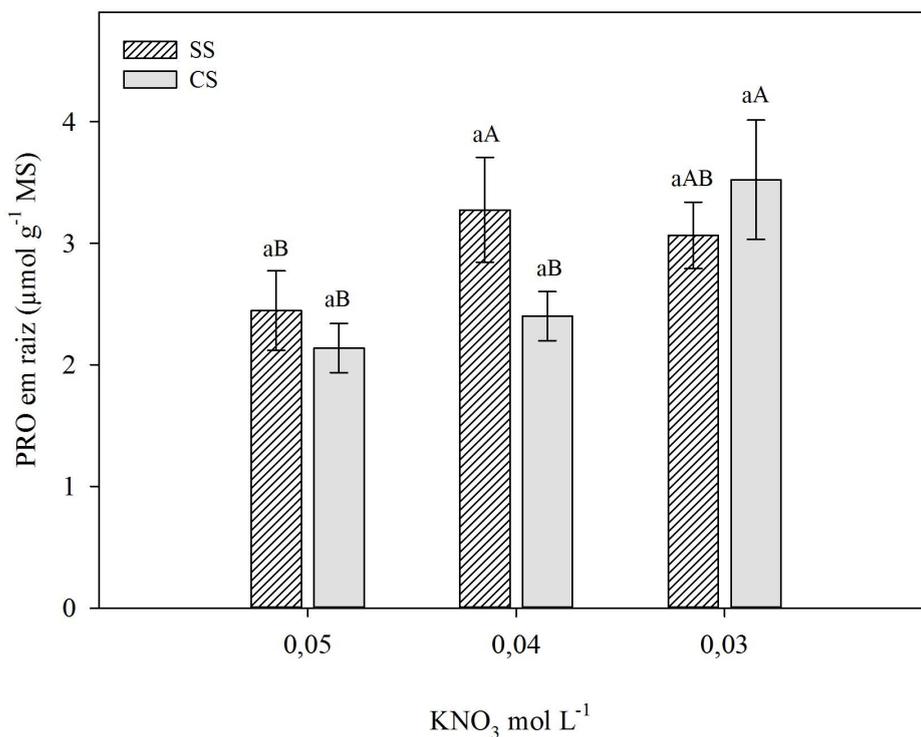


Figura 26: Prolina em raízes de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico (PRO). Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam interação do Si dentro de cada concentração de KNO_3 , e letras maiúsculas indicam interação do Si entre as concentrações de KNO_3 .

Para os teores de nitrato (NO_3^-) nas folhas das alfaces hidropônicas estudadas observou-se que apenas o fator Si exerceu efeito significativo para a variável, provocando um aumento de 66% nos valores desse nutriente em folhas de alface (0,060 g de NO_3^-). As diferentes concentrações de KNO_3 na solução nutritiva não influenciaram o acúmulo do nutriente de forma significativa (Figura 27). Para as raízes, não foi observado efeito significativo dos fatores estudados, obtendo uma média de 0,037 g de NO_3^- .

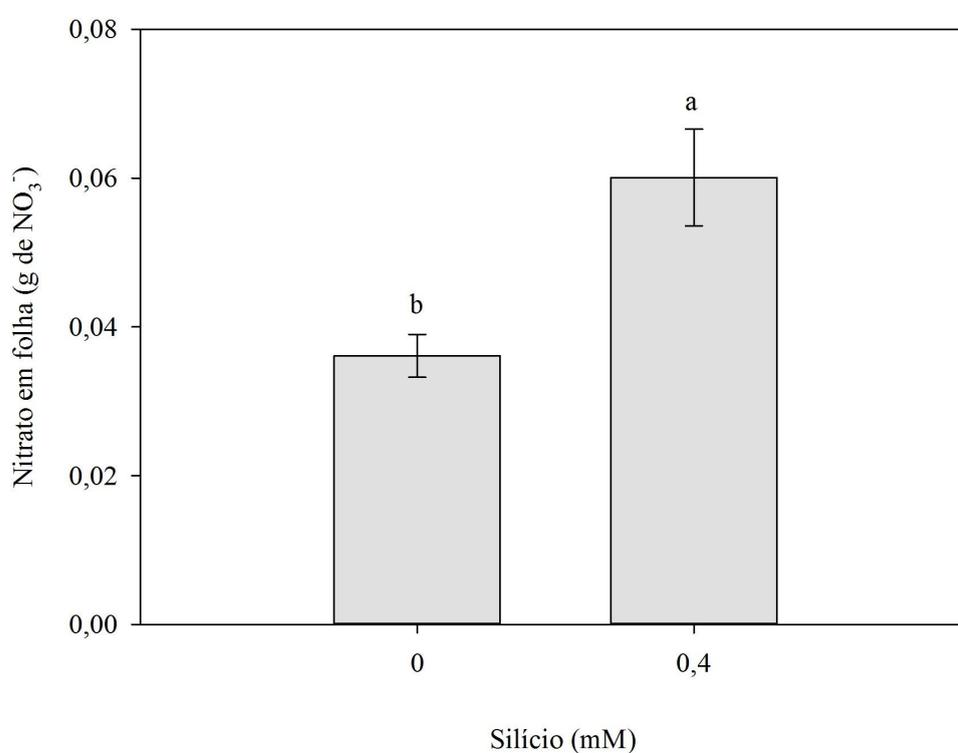


Figura 27: Teor de nitrato em folhas de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

4.4 Discussão

O sucesso do cultivo hidropônico se dá, principalmente, pela qualidade da solução nutritiva, mas caminha também ao lado de um acompanhamento diário adequado. Assim como no 1º experimento, a solução nutritiva foi acompanhada diariamente quanto seu pH, CE, consumo hídrico e temperatura da solução nutritiva.

Em relação à temperatura da solução nutritiva, Fernandes et al. (2018) dizem que a mesma é fator primordial. Em estudo sobre diferentes lâminas de água no cultivo hidropônico do coentro, Silva et al. (2020) registraram temperaturas da solução nutritiva entre 25,7-28,1 °C e relacionaram a coloração clara das raízes dos vegetais a um indicativo de concentrações de OD (oxigênio dissolvido) adequado para o crescimento das plantas de coentro, já que esta variável está diretamente relacionada a temperatura da solução nutritiva. Ora, para o presente estudo a temperatura da solução nutritiva mostrou-se um pouco mais elevada do indicado. No entanto, é possível atribuir tal fato a elevada temperatura ambiental nos dias de cultivo, as quais variaram entre 33-36 °C (ACCUWEATHER, 2021), já que esta, juntamente com a temperatura da solução nutritiva, estão diretamente relacionadas (COMETTI et al., 2018). Assim, conforme Silva et al. (2020) a coloração das raízes (Apêndice D) é um indicativo de que, apesar da temperatura elevada em comparação a outros estudos, a mesma se mostrou adequada para o cultivo de alface hidropônica deste estudo.

Como forma de aperfeiçoar a técnica hidropônica em ambientes de clima mais quente, como é o caso do Semiárido brasileiro, vários estudos vêm sendo desenvolvidos com relação à temperatura da solução nutritiva. Sakamoto e Suzuqui (2015) registraram maior produção de alface hidropônica em temperaturas da solução de 30 °C. Silva et al. (2020) concluíram em seu estudo sobre a temperatura da solução nutritiva para o cultivo do coentro em sistema hidropônico, que é possível produzir a cultura em temperatura de até 30 °C. Da mesma forma, Bremenkamp et al. (2012) puderam observar que as características agronômicas da alface hidropônica passaram a decair apenas a partir da temperatura da solução nutritiva de 30 °C.

Embora as variações de temperatura da solução nutritiva nos tratamentos para o presente trabalho não tenham se mostrado tão distantes entre si, a presença do Si possibilitou uma leve diminuição na mesma (Apêndice B). É importante frisar que em espécies vegetais consideradas de desenvolvimento ótimo em temperaturas amenas, como é o caso da alface, a exposição a altas temperaturas pode levar a episódios de estresse, que de forma mais intensa, causa danos aos vegetais. No entanto, o Si é capaz de induzir a produção de compostos fenólicos com ação antioxidante, que mitigam os efeitos danosos de um possível estresse por temperatura, embora esses mecanismos não sejam conhecidos em hortaliças folhosas (ASHRAF et. al., 2010). O que se conhece é que o Si se deposita na parede celular das células do vegetal e essa camada protetora impede uma perda de água maior por evapotranspiração (GARCIA NETO, 2018). Desta forma, levando os vegetais a um menor consumo de água, o que pode explicar o comportamento em relação ao consumo hídrico das alfaces hidropônicas submetidas à solução nutritiva acrescida de Si no presente trabalho (Figura 17).

O Si é conhecido por amenizar os efeitos de diversos estresses abióticos dos vegetais, mais que isso, proporciona um melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, como é o caso do N (SILVA e PRADO, 2019; CÂNDIDO et al., 2020). Em estudo com alface cultivada em solução nutritiva, Cândido et al. (2020) viu que o Si foi capaz de atenuar os efeitos causados pelo excesso e déficit de N na solução. Souza Júnior (2018) constatou que o Si foi capaz de mitigar os efeitos da deficiência de Boro (B) em algodoeiro submetido a aplicação de solução nutritiva via foliar e radicular. Para a relação C:N:P (carbono, nitrogênio, fósforo) Tenesaca (2021) comprovou influência do Si na absorção e concentração desses nutrientes pela quinoa, promovendo a maior eficiência e uso do N e P e uma menor absorção de C, levando a crer que o Si poderia ter substituído esse elemento nos compostos orgânicos da parede celular, como a lignina e a celulose. Essa influência direta do Si com os demais nutrientes importantes ao desenvolvimento vegetal pode ter contribuído para a constante no consumo de nutrientes pelas alfaces nos tratamentos com a presença do Si (Figura 17).

A avaliação das características morfológicas de cultivares agronômicas tem sua relevância posta em pauta, quando da importância para o produtor cultivar hortaliças de alta qualidade comercial. No caso das variáveis AP e CC, por exemplo, as mesmas permitem uma melhor qualidade visual para o quesito comercial (NEVES et al., 2016). Ainda para AP, Santos et al. (2012) sugerem que a mesma reflete as respostas das plantas de alface quanto às condições ambientais na qual estão sendo cultivadas. Ao adubar plantas de alface com $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, Sousa et al. (2020) obtiveram valores entre 24,5 - 24,8 cm de AP para as cultivares Mônica e Amanda respectivamente, mas comprovaram uma melhor resposta para AP quanto ao ambiente de cultivo (média de 26,2 cm em casa de vegetação). Quanto a essa informação, Neves et al. (2016) relataram AP de plantas de alface abaixo das registradas para o presente trabalho (10,64 cm) quando cultivadas em ambiente protegido com tela de sombreamento de 50%, e com temperatura média do ar de 35 °C. Por se tratar de uma cultura de inverno, o seu desenvolvimento é muito influenciado pelas condições ambientais (LIMA et al., 2016), sendo estas semelhantes às do presente trabalho. No entanto, nos ensaios de Neves et al. (2016) a baixa incidência luminosa causada pelas telas de sombreamento provocou o estiolamento das cultivares estudadas, o que não foi observado na presente pesquisa.

Para além das condições ambientais, outro fator de suma importância no cultivo da alface é a presença do N. Este macronutriente é considerado o mais importante no desenvolvimento da cultura, onde a sua falta ou excesso podem causar prejuízos na produtividade e qualidade nutritiva dessa hortaliça (SANTANA et al., 2019). Segundo Luz et al. (2016) a deficiência de N retarda o crescimento da planta de alface e prejudica a formação da cabeça, parte comercial da hortaliça. Quantidades adequadas desse nutriente são de grande importância para um crescimento, desenvolvimento e reprodução eficientes (CÂNDIDO et al., 2020). Explica-se assim, a redução na AP das alfaces estudadas quando se diminui as doses de KNO_3 na solução nutritiva hidropônica (Figura 18 A).

Em trabalho com a utilização de Silicato de magnésio (SiMg) no cultivo de alface em sistema convencional em horta, Feba et al. (2017) registraram uma média de 25,1 cm para DC da cultivar estudada. Os autores comentam que não há registros na literatura sobre os efeitos benéficos do Si quanto às características de crescimento da alface, e conseqüentemente, de produtividade. Luz et al. (2010) observaram a não influência da adição do Si às cultivares de alface estudadas, registrando DC de 26,55 cm. No entanto, os autores atribuem esse resultado ao espaçamento entre canos e plantas na bancada hidropônica não ter sido o recomendável.

Embora sejam escassos os dados bibliográficos que demonstram influência do Si nas características de crescimento da cultura da alface, Amaro et al. (2017) observaram aumento na variável DC de alfaces em dose de $1,0 \text{ g l}^{-1}$ utilizando produto com 100% de Si em sua composição. Zimmermann et al. (2020) com dose de $0,4 \text{ g l}^{-1}$ de Si aplicado via radicular, registrou DC de 10 cm em alface, corroborando assim com os dados da presente pesquisa quanto a influência do Si na variável já que, quanto aos valores de DC, o presente estudo apresentou valores de 37,9 cm e 40 cm para as plantas em soluções nutritivas sem e com Si, respectivamente (Figura 18 B).

Em estudo sobre a interação entre Si e a falta ou excesso de N em alface, Cândido et al. (2020) registraram interação significativa desses fatores para NFT e NFC, onde os autores puderam observar maior NFT na ausência de Si na menor concentração de N, corroborando assim com o presente trabalho, onde com a redução na concentração de KNO_3 para 0,04M foi encontrada o maior NFT. Segundo os mesmos autores, possivelmente, o estresse causado pela deficiência de N, na ausência de Si, pode ter influenciado as plantas a investirem em mais folhas. Lemos Neto et al. (2020) também comprovaram efeito significativo do Si quanto ao NFT em sua pesquisa com alface hidropônica, com um número máximo de 15 folhas em uma dose de 1 mM de Silicato de sódio (NaSiO_3). O autor percebeu que a variável reduziu paralelamente a adição de Si à solução nutritiva, porém, não chegando a prejudicar a produção final da cultura. Vale ressaltar que a característica produtiva NFT também pode ser influenciada pela cultivar, além do fotoperíodo e da temperatura do ar (MAIA, 2019).

De forma contrária aos resultados obtidos pela presente pesquisa, Neves (2020) obteve aumento no NFT ao adicionar Si à solução nutritiva, no entanto, a autora evidenciou que esse resultado deu-se pela forma de aplicação do elemento, sendo esta realizada através de pulverização foliar, incrementando o Si nas folhas de alface, local da planta de maior absorção do elemento, e assim, favorecendo variáveis como a fotossíntese.

Dados semelhantes ao presente trabalho foram registrados por Souza (2015) onde o valor máximo do NFC de plantas de alface da cultivar Vera, fertirrigadas com N e K_2SiO_3 , foi de 25 planta⁻¹, e o valor mínimo de 18 planta⁻¹. Souza (2015) verificou influência significativa quanto às doses de N e de K_2SiO_3 para o NFC, onde o crescimento da mesma se deu a partir do acréscimo nas doses de N dos tratamentos, assim como para o K_2SiO_3 , inversamente proporcional ao presente trabalho, onde a redução nas doses de KNO_3 também reduziu os valores do NFC, assim como a presença do Si ocasionou o mesmo efeito. De acordo com Cândido et al. (2020), quando o N é fornecido abaixo do ideal para o vegetal, a resposta é a redução no número de folhas. Quanto ao silício, Neves et al. (2020) também observaram redução no NF de alfaces cv. Veneranda mediante aplicação desse elemento, e alegam que é possível que o menor crescimento, representado pela MFF, induzido pelas doses de Si tenha afetado indiretamente a emissão de folhas, pela isometria no crescimento dos diversos órgãos da planta, o que está de acordo com o presente trabalho (Figura 20 A).

Para a CC Yuri et al. (2017) relatam que a mesma é uma variável muito importante para o produtor, pois determina a remuneração na hora da comercialização, já que é condicionante para um melhor aproveitamento da planta quando do processo de beneficiamento. Os dados obtidos pelos autores anteriormente mencionados registraram CC de diversas cultivares de alface entre 43 - 46,3 cm, considerados pelos autores valores apropriados para as espécimes. Vale salientar que esses números são praticamente a metade dos registrados para o presente trabalho, levando-se a concluir que as alfaces hidropônicas estudadas, independente da concentração de KNO_3 e da presença ou ausência de Si na solução nutritiva, mostraram-se com características agrônômicas adequadas, segundo a afirmação de Yuri et al. (2017). Resende et al. (2012) avaliaram a CC de plantas de alface quanto a adição de doses crescentes de N, onde puderam observar o aumento da variável de acordo com o aumento nas doses de N estudadas. De forma inversa, no presente trabalho observou-se um decréscimo na CC das alfaces à medida em que se reduziu a concentração de KNO_3 na solução nutritiva, no entanto, com valores ainda acima dos registrados pelos autores.

É importante analisar as respostas das plantas de alface hidropônica estudadas, quanto às variáveis agrônômicas e por assim dizer, comerciais, sob a ótica da comercialização. No presente estudo, a cultivar Veneranda apresentou características comerciais aceitáveis, de acordo com a literatura consultada, levando-se a crer que o sistema de cultivo hidropônico é uma alternativa viável ao produtor rural. Todavia, as concentrações decrescentes de KNO_3 na solução nutritiva provocaram a redução em algumas respostas, como a CC por exemplo, e possivelmente a fonte de Si utilizada não tenha respondido eficientemente o quanto se esperava. Corroborando-se então, com Guerrero et al. (2011) que analisaram a não influência do nutriente Si em relação às características agrônômicas da rúcula, e ainda Shi et al. (2013) que mencionam que o papel do Si na biologia vegetal ainda não é bem conhecido.

Além das características morfológicas já citadas, também avaliou-se o VR. Segundo El-Sharkawy (2007) o crescimento das raízes pode ser diminuído em situações de estresse, nesse sentido, o Si induz a biossíntese de hormônios, como o ABA e assim promove o crescimento do sistema radicular e, conseqüentemente, aumenta a área de exploração da raiz (PEI et al., 2010; ETESAMI e JEONG, 2018; CÔRREA, 2019). No entanto, para deficiência em KNO_3 observou-se uma relação raiz/parte aérea desequilibrada, onde o sistema radicular cresceu em demasia na tentativa de captar mais desse nutriente (SOUZA e FERNANDES, 2018). O Si pode então ter amenizado o estresse por deficiência de KNO_3 nas alfaces estudadas, já que os maiores valores para VR foram encontrados nas plantas sem suplementação silicatada (Figura 19).

Quanto à biomassa, os resultados de MFF apresentados no presente trabalho são corroborados por Neves et al. (2020), onde os mesmos comprovaram redução de 14% na MFF da cv. Veneranda ao receber doses de Si no cultivo sem solo. Os autores entenderam que a resposta da alface ao Si pode estar relacionada a cultivar e às condições ambientais as quais foram expostas durante seu período de crescimento e desenvolvimento. Lemos Neto et al. (2020) estudando a aplicação de Si em hidroponia para o cultivo de alface, observou que na dose de 0,4 mM de Si a cultivar Lucy Brown respondeu de forma a incrementar a MFF. Todavia, em uma análise de forma geral da ação do Si em sistema hidropônico o nutriente não resultou em incrementos de MFF e MSF nas cultivares estudadas.

Esse resultado pode ser reflexo da forma de aplicação do nutriente no presente trabalho, realizada diretamente na solução nutritiva. Neves (2020) em avaliação desses fatores constatou que a aplicação foliar, na forma de Ca_2O_4Si possibilitou o incremento da MFF das alfaces estudadas, e associou esse resultado a função do Si nas plantas, como permitir folhas mais eretas, prevenindo o auto sombreamento e assim, aumentando a fotossíntese, o que ocorre devido a rigidez estrutural dos tecidos. Por ser considerada uma espécie não acumuladora de Si, a alface apresenta maior acúmulo desse nutriente nas raízes, onde devido a baixa atividade dos transportadores Ls1 e Ls2 nas membranas das células radiculares, o acúmulo não se dá de forma efetiva na parte aérea (MA e YAMAJI, 2008; NEVES JÚNIOR e FREITAS, 2019; SILVA, 2021). Assim, devido a sua natureza não acumuladora de Si, a aplicação do nutriente de forma foliar se torna mais eficiente, com melhores resultados de rendimento em comparação a aplicação radicular (FERREIRA et al., 2009; NEVES, 2020).

Ao analisarmos a MSF das alfaces hidropônicas, o efeito do Si em reduzi-la está de acordo com os dados levantados por Neves et al. (2020), onde a adição de doses de Si reduziu a MSF da alface cv. Veneranda. Os autores justificam esse resultado através da competição que existe entre Si e outros nutrientes importantes para a produção de fitomassa da alface. Já nos estudos de Pohlmann et al. (2019) o Si não causou efeito significativo para acúmulo de MSF quando aplicado de forma foliar na cultura do rabanete. Os autores acreditam que esse resultado seja reflexo do fato de ser o rabanete uma cultura não acumuladora de Si, contrapondo-se às informações de Ferreira et al. (2009).

Além da biomassa, o status hídrico das alfaces hidropônicas estudadas também é fator de primordial importância, haja vista o ambiente de cultivo nesse método ser primordialmente o hídrico. Segundo Peloso (2017) um fator de grande importância para o vegetal, pois determina as condições hídricas nas plantas, é o CRA. O Si por sua vez, possui efeito benéfico nos organismos vegetais melhorando o status hídrico não apenas pela diminuição na transpiração foliar, mas também pelo aumento da absorção e/ou transporte de água pela raiz (SHI et al., 2016). No entanto, esse efeito benéfico do Si no teor de água do tecido foliar se dá de forma mais efetiva a partir da aplicação exógena do nutriente (LIU et al., 2015).

Para o efeito em relação às doses de KNO_3 na solução nutritiva, Silva et al. (2019) obtiveram resultado semelhante ao do presente trabalho em frutos de melancia, quando o CRA dos mesmos respondeu a aplicação de doses de N na irrigação, de forma a aumentar essa variável na menor dose do nutriente, em cerca de 47%. Os autores atribuem a redução da variável na maior dose de N a uma redução na homeostase iônica nas plantas, provocada pelo nutriente. No entanto, não se explica a menor dose de KNO_3 , na presente pesquisa ser estatisticamente igual a maior dose.

Levando-se em consideração ainda o ambiente de cultivo, avaliou-se os teores de sais nas plantas de alface hidropônicas. Os resultados para as concentrações de Na^+ , Ca^{2+} e K^+ em folhas mostraram-se abaixo do registrado por Kraemer et al. (2020), os quais obtiveram para cultivares de alface em sistema hidropônico médias de 21,82 mg 100 g para o Ca^+ ; 2,73 mg 100 g para Na^+ e 113,56 mg 100 g para o K^+ . Os autores concluíram que a composição centesimal de hortaliças sofre influência do sistema de cultivo, em função da aplicação de diferentes adubos.

Em estudo, também com cultivares de alface em sistema hidropônico com a adição de Si no cultivo, Lemos Neto (2019) observou que os teores de Na^+ nas folhas reduziram diante a

condição de estresse salino com a presença de Si, semelhantemente ao registrado pelo presente trabalho, no entanto, para a deficiência em KNO_3 . O Si vêm sendo estudado por diminuir a absorção e translocação de Na^+ da raiz para a parte aérea do vegetal em situação de estresse salino (LIANG et al., 2007), o que pode ter ocorrido no presente trabalho.

Observando o comportamento da concentração de K^+ nas raízes das alfaces em detrimento a redução do conteúdo de KNO_3 na solução nutritiva, é sabido que a interação N/K é muito importante no metabolismo vegetal. De acordo com Coskun et al. (2017), a menor disposição de N, resulta em uma concentração de K^+ relativamente moderada, pois o emprego de uma adubação nitrogenada com NO_3^- pode alterar a dinâmica de absorção de nutrientes, como o K^+ .

Segundo Ashraf et al. (2018) o Si é capaz de precipitar sais e íons metálicos do solo reduzindo o acúmulo dentro do corpo da planta, o que foi possível observar a partir da sua ação quanto ao K^+ e Na^+ na raiz das alfaces hidropônicas estudadas.

Em contrapartida, o Si provocou acréscimo de carboidratos nos espécimes de alface hidropônica estudados. Os resultados do presente trabalho corroboram com CORRÊA (2019) quando a mesma, em avaliação de plantas de tomate submetidas a déficit hídrico e tratadas com Si, percebeu que os teores de AST e ANR nas folhas da cultura aumentaram como resposta a aplicação de $1,00 \text{ g L}^{-1}$ de Si. A autora comentou, que o Si participou dessa forma, da síntese de carboidratos pela manutenção da fotossíntese. O que ocorreu devido esse nutriente reduzir a degradação das clorofilas pelas espécies reativas de oxigênio, e ainda diminuir a energia perdida pela passagem de elétrons entre os fotossistemas durante a fase clara do processo fotossintético (ETESAMI e JEONG, 2018). No caso do aumento em AST observado no tratamento $0,03\text{M}$, o Si possivelmente atuou de forma semelhante quanto a síntese de clorofila, já que sob deficiência de KNO_3 , esperava-se que a síntese fosse comprometida, e como consequência a fotossíntese e a produção de açúcares (TAIZ et al., 2017). Da mesma forma, Figueiredo et al. (2010) registraram aumento nos teores de AST e ANR em folhas no cultivo de morangueiro mediante fertirrigação com Si. Os autores ainda confirmam que estes resultados evidenciaram a ação efetiva do Si no metabolismo dos açúcares.

Segundo Pedroso et al. (2014) em situações adversas, as plantas utilizam os açúcares sintetizados nas folhas para manter os seus processos metabólicos e anatômicos ativos, tais como a respiração, por exemplo. Isso pode explicar a redução nos AST em folha no presente

trabalho, a medida em que se reduziu a concentração de KNO_3 na solução nutritiva (Figura 23 A). Vale ressaltar ainda que, são escassas as pesquisas que tratam sobre deficiência de KNO_3 e as consequências metabólicas geradas nas culturas, sobretudo na alface onde a maior preocupação é em relação ao excesso desse nutriente.

Cometti et al. (2004) em análise das raízes de alface hidropônica registraram teores de AST na ordem de $2,33 \mu\text{mol g}^{-1}$, valor esse abaixo do registrado para a presente pesquisa. De acordo com Cometti et al. (2004), o baixo teor de AST nas raízes de alfaces hidropônicas pode ser reflexo de uma nutrição parcialmente amoniacal da solução nutritiva, pois o amônio precisa ser rapidamente incorporado nas raízes, o que demanda maior quantidade de fotoassimilados.

Miranda et al. (2013) observaram em seu trabalho com sorgo forrageiro cultivado em solução nutritiva a base de NO_3 e submetido a estresse salino, que os teores de AST aumentaram na parte aérea das plantas, enquanto houve redução dos mesmos nas raízes do vegetal, da mesma forma que ocorreu no presente trabalho, porém para a redução de KNO_3 na solução nutritiva (Figura 24 C). O autor sugere que tal resposta tenha ocorrido devido a menor velocidade pela qual esses fotoassimilados são alocados para os tecidos dreno o que, por sua vez, é reflexo dos baixos teores de K^+ nos tecidos da raiz, corroborando com o presente estudo, e podendo ser assim, uma explicação para o comportamento dos carboidratos analisados.

Quanto a resposta das raízes em detrimento a interação $\text{KNO}_3 \times \text{Si}$, Ávila et al. (2010) evidenciam que há poucos relatos na literatura sobre essa interação em plantas cultivadas, o que acarreta lacunas de informações em pesquisas como a que está sendo apresentada. De acordo com Marafon e Endres (2011), o Si aumentou a tolerância das plantas em situações de excesso de KNO_3 , pois o íon H_3SiO_4^- acaba por competir pelo sítio de absorção do NO_3^- , mas quanto ao déficit de KNO_3 as pesquisas são escassas.

Para os teores protéicos os resultados do presente trabalho estão de acordo com Ashfaque et al. (2017) no que diz respeito ao aumento no teor de PT e NO_3^- (Figura 25 A; 27) sob a suplementação silicatada. Esse aumento se deu devido à ação benéfica do Si sobre a enzima NR, a qual atua primordialmente na via de assimilação do NO_3^- . O Si previne a sua degradação em situação adversa por meio do aumento nas proteínas para que ocorra a regulação do RNAm dessa enzima e, por consequência, os teores de N também se elevam. No entanto, segundo Neves (2020), pouco se sabe sobre a ação do Si no metabolismo bioquímico de plantas de alface, sendo necessário mais estudos quanto aos seus teores proteicos, enzima NR, NO_3^- , e demais componentes metabólicos.

Al-Mayahi (2016) também relatou aumento em teores de PT quando adicionado Si em plantas de *Phoenix dactylifera* L. sob estresse hídrico, e até mesmo nos espécimes que não se encontravam em situação adversa. Ashfaque et al. (2017) sugere que esse aumento protéico observado seja devido ao papel que o Si desenvolve na ligação entre aminoácidos para a formação de certas proteínas, além de estar ativamente envolvido no funcionamento do RNAm.

Quanto a redução nos teores de PRO mediante aplicação de Si à solução nutritiva, esse resultado se assemelha à Souza et al. (2013), os quais relataram teores de PRO sendo reduzidos em folhas de sorgo sob irrigação com solução nutritiva enriquecida com diferentes concentrações de Na_2SiO_3 , encontrando-se este em situação de estresse hídrico. Ibrahim et al. (2016) também observaram redução nos teores de PRO em trigo quando submetido a doses de Si para mitigação dos efeitos do estresse salino, o que segundo os autores, deve ter ocorrido devido a reação entre a PRO e o Si formando silaprolina, um composto análogo a PRO, sintetizado para promover uma maior solubilidade em água em cadeias de peptídeos (MARTINS et al., 2014). Infelizmente, as informações ainda são escassas quanto a esse composto.

Souza et al. (2013) também registraram redução nos teores de PRO em folha de sorgo mesmo com a suplementação silicatada, o que segundo os autores pode ter ocorrido devido a melhoria no status hídrico da planta a partir da aplicação do Si, não sendo necessário então a produção de PRO para esse fim. Corrobora-se assim os dados expressos no presente trabalho a partir dos quais apesar da não influência do Si no CRA e %U em alfaces hidropônicas os mesmos apresentaram valores máximos de 26,2% e 95,8% respectivamente, demonstrando um bom status hídrico da planta (Figura 21).

Os resultados obtidos no presente trabalho sugerem que, provavelmente, as raízes das alfaces cultivadas em hidroponia sofreram mais com a redução de NO_3 na solução nutritiva do que as folhas, já que o conteúdo de PRO em raízes aumentou quando em contato com a solução nutritiva com aporte de KNO_3 deficitário, sendo mais acentuado do que nas folhas também por estarem em contato direto com os nutrientes da solução nutritiva (SILVA, 2013). Segundo Ashraf e Foolad (2007), a concentração de PRO aumenta no citosol, contribuindo para um ajustamento osmótico citosólico quando a planta se encontra em situação adversa.

Em concordância com os resultados do presente trabalho, Corrêa (2019) registrou aumento no conteúdo de PRO em raízes de tomate submetidas a déficit hídrico quando da aplicação via foliar de Si, levando-se a crer que, independente da forma de aplicação desse nutriente, o mesmo é capaz de causar alterações efetivas no sistema radicular dos vegetais. Corrêa (2019) afirma que o aumento no teor de PRO em situação adversa para a planta possibilita um melhor ajustamento osmótico. Conceição (2015) também observou aumento nos teores de PRO em raízes de plantas de girassol sob tratamento com 2 mM de Si em situação de estresse salino, inclusive com valores maiores em relação ao observado para folhas. A autora atribui esse aumento ao girassol ser uma espécie vegetal tolerante ao estresse salino, o que levaria a um maior aumento de PRO como estratégia contra o estresse.

Ainda, uma das maiores preocupações quanto ao consumo de produtos, principalmente hortaliças folhosas cultivadas em sistema hidropônico, se faz em relação ao acúmulo de NO_3^- por esses vegetais. Pôrto et al. (2012) comentaram que, em relação ao sistema convencional em solo e o orgânico de produção de hortaliças, o hidropônico se destaca por apresentar os maiores teores de NO_3^- acumulados nos vegetais, o que ocorre devido a alta disponibilidade desse nutriente através da solução nutritiva de cultivo. Porém, de acordo com Cometti et al. (2004) os teores máximos de NO_3^- permitidos nos vegetais é de 3,5 - 4,5 g Kg^{-1} , valores esses que se mostraram bem acima dos registrados na presente pesquisa, os quais em contrapartida representam a redução na concentração de KNO_3 empregada na solução nutritiva durante o experimento.

Segundo Buchelt (2019) o Si promove o aumento da eficiência de uso do N pela planta, o que por sua vez leva a uma série de benefícios, tais como a eficiência da atividade da enzima NR e aumento da distribuição do N nas folhas. Confirmando esses dados, Lourinho (2020) observou aumento nos teores de NO_3^- em folhas de mogno africano suplementadas com Si, onde a autora afirma que esse aumento é considerado normal por ser esse composto uma das principais formas de entrada do N no vegetal, o qual na forma de NO_3^- pode ser transportado via xilema para as folhas, onde será reduzido no citosol e armazenado, justificando assim o seu acúmulo. Conceição (2015) também registrou aumento de NO_3^- em plantas de girassol submetidas a estresse salino em detrimento a adição de Si ao meio de crescimento, porém em raízes.

5. CONCLUSÕES

As características morfofisiológicas das alfaces cultivadas nas condições experimentais impostas, foram compatíveis com plantas comerciais quando cultivadas com CE até 2 dSm^{-1} .

É possível reduzir a concentração da solução nutritiva hidropônica para 1 dSm^{-1} . Porém, reduzir a concentração de NO_3^- para evitar maior acúmulo desse nutriente nas alfaces hidropônicas, não se mostrou eficiente.

A adição de silício na solução nutritiva pode ser empregada no cultivo hidropônico da alface. Estudos posteriores podem ser realizados para avaliar diferentes fontes de silício, bem como a aplicação foliar para a mesma finalidade do presente estudo.

REFERÊNCIAS

- ACCUWEATHER. **Catolé do Rocha, PB**. Disponível em:
<<https://www.accuweather.com/pt/br/catol%C3%A9-do-rocha/39917/july-weather/39917?year=2021>> Acesso em: 10 de mai. 2021.
- AGUIAR JÚNIOR, R. A; SILVA, A. G. P. da S; CHAVES, A. M. da S; DINIZ, N. B; LIMA, W. S. G. de; SANTOS, F. N. dos. Relação de desenvolvimento entre raiz e parte aérea das cultivares de cenoura (*Daucus carota* L.) Alvorada, Esplanada e Brasília em São Luís - MA. **Hortic. bras**, v.29, n. 2. p 1997-2003, 2011
- AINSWORTH, E. A; BUSH, D. R. Carbohydrate export from the leaf: A highly regulated process and target to enhance photosynthesis and productivity. **Plant. physiol**, v. 155, n.1, p 64-69, 2010
- AL-AGHABARY, K; ZHU, Z; SHI, Q. H. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. **Journal of plant nutrition**. v. 27, p 2101-2115, 2004
- ALENCAR, T. A. S.; TAVARES, A. T.; CHAVES, P. P. N.; FERREIRA, T. A.; NASCIMENTO, I. R. do. Efeito de intervalos de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 7, n. 3, p. 53-67, 2012.
- AL-MAYAH, A. M. W. Effect of silicon (Si) application on Phoenix dactylifera L. growth under drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) in vitro. **American Journal of Plant Sciences**. v. 7, p 1711-1728, 2016
- ALVES, R. V; FRANÇA, K. B; LIMA, S. A. Composição mineral de alface hidropônica irrigadas com o concentrado da dessalinização de águas salobras. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**. v. 9, n. 2, p 160-169, 2018
- ALVES, L. R. M; FARIAS, T. R. R. Revisão de literatura sobre o nitrogênio em soluções nutritivas na hidroponia. In: SIMPÓSIO ACADÊMICO DE AGRONOMIA, 7, 2019, Anápolis, GO, **Anais...**
- AMARO, C. L; OLIVEIRA, D. B; DOS ANJOS, R. A. R; PELÁ, A. Adubação foliar silicatada em alface americana. In: CONGRESSO ESTADUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IF GOIANO, 6. Urutaí, GO. 2017. **Anais...**

ANDRADE, R. R. de. **Efeito da concentração da solução nutritiva em cultivares de alface em sistema hidropônico tipo NFT, em clima Semiárido**. Fortaleza, 2019. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará

APRÍGIO, A; REZENDE, R; FREITAS, P. S. L de; COSTA, A. R da; SOUZA, R. S de. Teor de nitrato em alface hidropônica em função de vazões e períodos de pós colheita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 16, n. 9, p 946-951, 2012.

ARAÚJO, J. A. C. de; BLISKA JÚNIOR, A; SILVA, M. L. J. da; MARTINEZ, . E. P; SCOTTI, C. A; MEYER, A. R. K. **Cultivo Hidropônico da Alface**. v. 2. Brasília: SENAR, 1999.

ARAÚJO, E. D. de. **Silício como atenuador do estresse hídrico em feijão-caupí por meio do mecanismo antioxidante e desempenho agrônômico**. Campina Grande, 2017. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão.

ARAÚJO, E. D. de; MELO, A. S. de; ROCHA, M. do. S; CARNEIRO, R. F; ROCHA, M. de M. Germination and initial growth of cowpea cultivars under osmotic stress and salicylic acid. *Revista Caatinga*. v. 31, n. 1, p 80-89, 2018

ASHFAQUE, F; INAM, A; IQBAL, S; SAHAY, S. Response of silicon on metal accumulation, photosynthetic inhibition and oxidative stress in chromium-induced mustard (*Brassica juncea* L). **South African Journal of Botany**. v. 111, p 153-160, 2017

ASHRAF, M; FOOLAD, M. R; Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p 206-216, 2007

ASHRAF, M; AFZAL, M; AHMAD, R; MAQSOOD, M. A; SHAHZAD, S. M; AZIZ, A; AKHTAR, N. Silicon management for mitigating abiotic stress effects in plants. **Plant stress**, v. 4, n. 2, p 104-114, 2010

ASHRAF, M; AKRAM, N. A; ALQRAINY, F; FOOLAD, M. R. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. **Advances in Agronomy**, v. 111, p 249-296, 2011

ASHRAF, M; SAFDAR, M. E; SHAHZAD, S. M; AZIZ, A; PIRACAHA, M. A. Challenges and opportunities for using wastewater in agriculture: A review. **J Appl Agric Biotechnol**. v. 2, 2018

ÁVILA, F. W; BALIZA, D. P; FAQUIN, V; ARAÚJO, J. L; RAMOS, S. J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**. v. 41, n. 2, p 184-190, 2010

BARROS, J. D. S; CHAVES, L. H. G; PEREIRA, W. E. Carbon and nitrogen stocks under different management systems in the Paraiban “Sertão”. **African Journal of Agricultural Research**. v. 10, n. 3, p 130-136, 2015

BARROS, J. D de S; PORDEUS, A. V. Agricultura no Semiárido Brasileiro: Desafios e potencialidades na adoção de práticas agrícolas sustentáveis. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1, 2016, Campina Grande, PB, **Anais...** 2016.

BASSO, S. M. S. **Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia DC* e *Lotus L.*** Porto Alegre, 1999. 268 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v.39, n. 1, p.205-207, 1973.

BEZERRA NETO, E; BARRETO, L. P. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**. v 8, n 9, p 107 - 137, 2012

BEZERRA NETO, E. Hidroponia. In: _____ **Cadernos do Semiárido: Riquezas e oportunidades**. Recife: EDUFRPE, 2017.

BIONE, M. A. A; PAZ, V. P. da S; SILVA, F. da; RIBAS, R. F; SOARES, T. M. Crescimento e produção de manjerição em sistema hidropônico NFT sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 12, p 1228-1234, 2014

BORCIONI, E; MÓGOR, A. F; PINTO, F. Aplicação de ácido fúlvico em mudas influenciando o crescimento radicular e produtividade de alface americana. **Revista Ciência Agronômica**. v. 47, n. 3, p 1-7, 2016

BREMNER, J.M.; KEENEY, D.R. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1965

BREMENKAMP, D. M; GALON, K; HELL, L. R; PASSOS, G; CASAROTI, E. P. F; COMETTI, N. N. Efeito da temperatura da solução nutritiva no crescimento da alface (*Lactuca sativa L.*) em hidroponia. **Hortic. bras.** v. 30, n. 2, p 596–604, 2012.

BUCHELT, A. C. **Silício na mitigação de deficiência nutricional e formas de aplicação via fertirrigação e foliar em plantas forrageiras**. Jaboticabal, 2019. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista

CÂNDIDO, A. C. T. F.; ROCHA, A. M. da; PEREIRA, H. de S.; LOURINI, S. H.; CAIONE, G. Silício na mitigação de estresse causado pela falta ou excesso de nitrogênio em alface. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**. v. 11, n. 6, p 23-32, 2020

CANTUÁRIO, F. S.; LUZ, J. M. Q.; PEREIRA, A. I. A.; SALOMÃO, L. C.; REBOUÇAS, T. N. H. Podridão apical e escaldadura em frutos de pimentão submetidos a estresse hídrico e doses de silício. **Hortic. bras.** v. 32, n. 2, p 215–219, 2014.

CAPELO, R. A. S. P. **Caracterização do estresse salino em plantas de manjeriço (*Ocimum basilicum*)** Lisboa, 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de Lisboa

CARDOSO, M. N.; ARAÚJO, A. G. de; OLIVEIRA, L. A. R.; CARDOSO, B. T.; MUNIZ, A. V. C. da S.; SANTOS, P. S. N. dos; OLIVEIRA, A. C. A. de; MACHADO, C. de A.; LEDO, A. da S. Proline synthesis and physiological response of cassava genotypes under *in vitro* salinity. **Ciência Rural**. v. 49, n. 6, 2019

CARON, B. O.; POMMER, S. F.; SCHIMIDT, D.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. Crescimento da alface em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 3, n. 2, p 97-104, 2004.

CAVALCANTE, A. R.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; DIAS, N da S.; PAZ, V. P da S. Produção e composição mineral do coentro em sistema hidropônico de baixo custo. **Irriga.** v. 21, n. 4, p 685-696, 2016

COELHO, D. S.; MARQUES, M. A. D.; SILVA, J. A. B. da; GARRIDO, M. da S.; CARVALHO, P. G S. de. Respostas fisiológicas em variedades de feijão caupi submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Brazilian Journal of Biosciences**. v. 12, n. 1, p 14-19, 2014

COELHO, V. A. T.; SOUZA, C. G. de; NASCIMENTO, E. de S.; LACERDA, L. G.; CARDOSO, P. A. Macronutrient deficiencies in Italian Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.): symptoms and growth characterization. **Research Society and Development**. v. 9, n. 3, 2020

COMETTI, N. N; MATIAS, G. C. S; ZONTA, E; MARY, W; FERNANDES, M. S. Compostos nitrogenados e açúcares solúveis em tecidos de alface orgânica, hidropônica e convencional. **Horticultura Brasileira**. v. 22, n. 4, p 748-753, 2004

COMETTI, N. N; FURLANI, P. R; RUIZ, H. A; FERNANDES FILHO, E. I. Soluções nutritivas: formulações e aplicações. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, 2006

COMETTI, N. N. BUGBEE, B. Acúmulo de nitrato na alface em cultivo hidropônico em função da temperatura, concentração do nitrato e do pulso de amônio na solução nutritiva. **Hortic. bras.** v. 28, n. 2, p 885–892, 2010.

COMETTI, N. N; FURLANI, P. R; GENUNCIO, G. da C. Soluções nutritivas: Composição, formulação, usos e atributos. In: FERNANDES, M. S; SOUZA, S. R. de; SANTOS, L. A. (Ed). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa, MG, 2018

COMETTI, N. N; GALON, K; BREMENKAMP, D. M. Behavior of four cultivars of lettuce in hydroponic cultivation in tropical environment. **Revista eixo**, v. 8, n. 1, p 1-9, 2019

CONCEIÇÃO, S. S. **Aclimação de plantas de girassol à salinidade induzida por silício**. Fortaleza, 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará.

CONCEIÇÃO, S. S; OLIVEIRA NETO, C. F. DE; MARQUES, E. C; BARBOSA, A. V. C; GALVÃO, J. R; OLIVEIRA, T. B. DE; OKUMURA, R. S; MARTINS, J. T. DA S; COSTA, T. C; GOMES-FILHO, E. Silicon modulates the activity of antioxidant enzymes and nitrogen compounds in sunflower plants under salt stress. **Archi. of Agro. and Soil Scie.** v. 65, n. 9, p 1237-1247, 2019

CORRÊA, C. V. **Aplicação de silício em plantas de tomate cultivar micro-tom sob déficit hídrico**. Botucatu, 2019. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Programa de Pós-Graduação em Horticultura, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

COSKUN, D; BRITTO, D. T; KRONZUCKER, H. J. The nitrogen - potassium intersection: membranes, metabolism, and mechanism. **Plant, Cell and Environment**, v. 40, p 2029-2041, 2017

COSTA, A. R. da. **Nutrição mineral em plantas vasculares**. Évora: Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, 2014

DALASTRA, C. **Nutrição e produção de alface americana em função da vazão, periodicidade de exposição e condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico**. Ilha Solteira, 2017. 102 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

DANTAS, L. A.; LIMA, J. de S.; SILVA, A. F. da; SOUZA, D. dos S.; DANTAS, R. F.; MAIA, J. M. Adubação silicatada impulsiona o crescimento do mamoeiro sob supressão hídrica. In: SEMANA DA AGRONOMIA, 15. Universidade Federal da Paraíba, 2019. **Anais...**

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 424 p.

DIAMANTE, M. S.; SEABRA JÚNIOR, S.; INAGAKI, A. M.; SILVA, M. B.; DALLACORT, R. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sobre diferentes ambientes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p 133 - 140, 2013

DINIZ, G. L. **Ecofisiologia de maracujazeiro gigante amarelo cultivado com águas salinas e adubação silicatada**. Pombal, 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical)-Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, Universidade Federal de Campina Grande

DUBOIS M.; GILLES K. A.; HAMILTON J. K.; REBER P. A.; SMITH F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Anais Chem**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

ECHER, R.; LOVATTO, P. B.; TRECHA, C. O.; SCHIEDECK, G. Alface à mesa: implicações sócio-econômicas e ambientais da semente ao prato. **Revista Thema**, v. 13, n. 3, p 17-29, 2016.

EL-SHARKAWY, M A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p 257-286, 2007

ETESAMI, H.; JEONG, B. R. Silício (Si): Revisão e perspectivas futuras sobre os mecanismos de ação no alívio de estresses bióticos e abióticos em plantas. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** v. 147, p 881-896, 2018

FARIAS, S. G. G. Estresse osmótico na germinação, crescimento e nutrição mineral de glicirídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.)). Patos, 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia -- Sistemas Agrossilvipastoris no Semiárido) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Campina Grande

FEBA, L. T; MAZZUCHELLI, E. H. L; CARVALHO, P. R; CACEFO, V. Silício promove melhor conservação pós-colheita da alface. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 12. Presidente Prudente, SP, 2017. **Anais...**

FELIPPE, L. C. V; PEREIRA, C. O. Teor de nitrato em alfaces do tipo crespa (*Lactuca sativa*) provenientes de diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Processos Químicos**. v. 1, n. 1, p 46-58, 2020

FERNANDES, J. M. P; FERNANDES, A. L. M; DIAS, N. da S; COSME, C. R; NASCIMENTO, L. V; QUEIROZ, I. S. R de. Salinidade da solução nutritiva na produção de alface americana em sistema hidropônico NFT. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 12, n. 3, p 2570-2578, 2018

FERREIRA, R. L. F; SOUZA, R. J; CARVALHO, J. G; ARAÚJO NETO, S. E; YURI, J. E. Avaliação de cultivares de alface adubadas com Silifertil®. **Revista Caatinga**. v. 22, n. 2, 2009

FERREIRA, E. B; CAVALCANTI, P. P; NOGUEIRA, D. A. Package library ExpDes.pt (versão1.2). 2010. Disponível em:
<https://www.rdocumentation.org/packages/ExpDes.pt/versions/1.2.0/topics/ExpDes.pt-package>
e Acesso em: 10 dez, 2020

FIGUEIREDO, F. C; BOTREL, P. P; TEIXEIRA, C. P; PETRAZZINI, L. L; LOCARNO, M; CARVALHO, J. G. de. Leaf spraying and fertirrigation with silicon on the physicochemical attributes of quality and coloration indices of strawberry. **Ciênc. Agrotec**. v. 34, n. 5, p 1306-1311, 2010

FONTES, R. V; VIANA, A. P; PEREIRA, M. G; OLIVEIRA, J. G; SILVA, D. M; BROETTO, S. G; SILVA, M. M. Diferentes espaçamentos de plantio e níveis de adubação sobre a atividade da redutase do nitrato em folhas do híbrido de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 32, p 1138-1145, 2010

FREIRE, J. L. O.; SILVA, J. E. da.; LIMA, J. M. de.; ARRUDA, J. A. de.; RODRIGUES, C. R. Desempenho fitotécnico e teores clorofilianos de cultivares de alface crespas produzidas com fertilização à base de urina de vaca no Seridó paraibano. **Agropecuária Científica do Semiárido**, v. 12, n. 3, p. 258-267, 2017.

FREITAS, V. S.; ALENCAR, N. L. M.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Changes in physiological and biochemical indicators associated with salt tolerance in cotton, sorghum and cowpea. **African Journal of Biochemistry Research**, v. 5, p. 264-271, 2011

FREITAS, M. A. C; AMORIM, A. V; BEZERRA, A. M. E; PEREIRA, M. S; BESSA, M. C; NOGUEIRA FILHO, F. P; LACERDA, C. F. Growth and salinity tolerance in there medicinal species of the genus *Plectranthus* exposed to different levels of solar radiation. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. v. 16, n. 4, p 839-849, 2014

FREITAS, L. B. de; FERNANDES, D. M; MAIA, S. C. M. Silício na nutrição mineral e acúmulo de alumínio em plantas de arroz de terras altas. **Pesq. Agropec**. v. 45, n. 4, p 440-448, 2015

FREITAS, W. E. de S. **Adubação suplementar com enxofre como atenuador dos efeitos do estresse salino em plantas de alface hidropônica**. Fortaleza, 2018. 97 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará

FREITAS, W. E. de S; OLIVEIRA, A. B. de; MESQUITA, R. O; CARVALHO, H. H. de; PRISCO, J. T; GOMES-FILHO, E. Sulfur-induced salinity tolerance in lettuce is due to a better P and K uptake, lower Na/K ratio and an efficient antioxidative defense system. **Scientia Horticulturae**. v. 257, 2019

FURLANI, P. R; SILVEIRA, L. C. P; BOLONHEZI, D; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas. Parte 2 - Solução nutritiva**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Hidroponiap2/Index.htm> Acesso em: 24 set. 2019

GALATI, V. C; GUIMARÃES, J. E. R; MARQUES, K. M; FERNANDES, J. D. R; CECÍLIO FILHO, A. B; MATTIUZ, B. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana “Lucy Brown” minimamente processada. **Ciência Rural**. v. 45, n. 11, p 1932-1938, 2015.

GARCIA NETO, J. **Concentrações e fontes de silício foliar na produção e na qualidade do agrião e do almeirão**. Jaoticabal, 2018. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista

GOMES, K. R; AMORIM, A. V; FERREIRA, F. J; FILHO, F. L. A; LACERDA, C. F; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Rev. bras. eng. agric. ambient**. v. 15, n. 4, p 365-370, 2011

GONÇALVES, T. O; CORINGA, E. A. O; CLEYTON, B. P; SERAFIM, P. H. A. Teor de nitrato em alface crespa e americana cultivadas em sistema hidropônico e convencional. In:

SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DE ALIMENTOS, 2, 2015, Mato Grosso, **Anais...**

GONZAGA, T. O. D; ARAÚJO, C; ANDRADE, A. L; SANTOS, J. M. R; SILVA, G. B; SILVA, V. L. Produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) submetidas a diferentes doses de silício. **Scientific Electronic Archives**. v. 13, n. 1, 2020

GUARDABAXO, C. M. S; ASSIS, K. C. C; FIGUEIREDO, F. C; SILVA, L. F. Cultivo da rúcula em sistema hidropônico sob diferentes concentrações de sais. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. v. 14, n. 3, p 274-282, 2020

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

GUIMARÃES^a, R. F. B; NASCIMENTO, R do; MELO, D. F de; RAMOS, J. G; PEREIRA, M. de O; BORGES, V. E; CARDOSO, J. A. F. Crescimento da alface hidropônica submetida a diferentes níveis de salinidade no Semiárido paraibano. **Revista Espacios**, v. 38, n. 38, p 25-32, 2017.

GUIMARÃES^b, R. F. B; NASCIMENTO, R; RAMOS, J. G; LIMA, S. C de; CARDOSO, J. A. F. Acúmulo de fitomassa de cultivares de alface hidropônica submetidas à salinidade. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v 11. ed. 8. p 2141 - 2151, 2017

HANNACHI, S; VAN LABEKE, M. C. Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). **Scientia Horticulturae**. v. 228, n. 26, p 56-65, 2018

HENZ, G. P; SUINAGA, F. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. Brasília: Embrapa hortaliças, 2009 (Comunicado Técnico 75)

HERRIDGE, D. F. Effect of nitrate and plant development on the abundance of nitrogenous solutes in root-bleeding and vacuum-extracted exudates of soybean. **Crop Science, Madison**, v. 24, n. 1, p. 173-179, 1984

HUSSAIN, A; IQBAL, K; AZIEM, S; MAHATO, P; NEGI, A. K. A review on the science of growing crops without soil (*Soillses culture*) - a novel alternative for growing crops. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**. v. 7, n. 11, p 833-842, 2014

IBRAHIM, M. A; MERWAD, A. M; ELNAKA, E. A; BURRAS, C. L; FOLLETT, L. Application of silicon ameliorated salinity stress and improved wheat yield. **Journal of Soil Science and Environmental Management**. v. 7, n. 7, p 81-91, 2016

JOB, A. L. G. **Doses de fósforo e aplicação de silício via solo e foliar na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Botucatu, 2019. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa

Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

KAYA, C; TUNA, A. L; ASHRAF, M; ALTUNLU, H. Impoved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. **Environmental and Experimental Botany**. v. 60, n. 3, p 39-403, 2007

KIBRIA, M. G; HOSSAIN, M; MURATA, Y; HOQUE, M. A. Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. **Rice Science**. v. 24, n. 3, p 155-162, 2017

KORNDORFER, G. H; SOUZA, R de S. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S; SOUZA, S. R de; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.

KRAEMER, C; ADAMI, F. S; ROSOLEN, M. D; SOUZA, C. F. V. de; MARMITT, L. G; OLIVEIRA, E. C. Nitrate, Nitrite, Calcium, Potassium and Sodium in organic, hydroponic and conventional vegetables. **Uningá Review**, v. 35, 2020

LACERDA, C. F; CAMBRAIA, J; CANO, M. A. O; RUIZ, H. A. Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 3, p 270-284, 2001

LAIA, R; REBELO, A; SERRA, C; VASCO, E. Teor de nitrato em produtos hortícolas e frutos consumidos ao longo do ano em Portugal. **Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge. Artigos breves**. n. 5, p 21-24, 2018

LECHINOSKI, A; FREITAS, J. M. N. de; CASTRO, D. da S; LOBATO, A. K. da S; OLIVEIRA NETO, C. F. de; CUNHA, R. L. M. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**. v. 5, n. 2, P 927–929, 2007.

LEMOS NETO, H. de S; GUIMARÃES, M. de A; MESQUITA, R. O; SAMPAIO, I. M. G; HENDGES, A. R. A. de A; OLIVEIRA, A. B. de. Silicon potential as attenuator of salinity effects on growth and post-harvest quality of Lettuce. **Journal of Agricultural Science**. v. 10, n. 7, p 455-463, 2018

LEMOS NETO, H de S. **Silício na atenuação dos efeitos da salinidade em alface hidropônica**. Fortaleza, 2019. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará

LEMOS NETO, H. de S; GUIMARÃES, M. de A; SAMPAIO, I. M. G; RABELO, J. da S; VIANA, C. dos S; MESQUITA, R. O. Can silicon (Si) influence growth, physiology and

postharvest quality of lettuce? **Australian Journal of Crop Science**. v. 14, n. 1, p 71-77, 2020

LIANG, Y; SUN, W; ZHUN, Y; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. **Science Direct**. v. 147, p 422-428, 2007

LIMA, M. de A; CASTRO, V. F. de; VIDAL, J. B; ENÉAS FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**. v. 42, n. 2, p 398-403, 2011

LIMA, J. C de S; SOUSA, L. M. de; MOTA, J. H; RESENDE, G. M. de; YURI, J. E. Desempenho de cultivares de alface do grupo crespa em Jataí - GO. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 16; ENCONTRO DE INICIAÇÃO A DOCÊNCIA, 6. EDUCAÇÃO E CIÊNCIA PARA A CIDADANIA GLOBAL, São José dos Campos, SP, 2016, **Anais...**

LIMA, N da S; SILVA, E. F. de F. e; MENEZES, D; CAMARA, T. R; WILLADINO, L. G. Rendimento e características nutricionais do pimentão cultivado sob estresse salino em sistema hidropônico. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p 297-305, 2018.

LIU, P; YIN, L; WANG, S; ZHANG, M; DENG, X; ZHANG, S; TANAKA, K. Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. **Environmental and Experimental Botany**. v. 111, p 42-51, 2015

LORENZI, C. O. Alface. In _____ **BOLETIM MARKESALQ**, ano 3, n. 10, 2015.

LOURINHO, M. P. **Silício como mitigador dos efeitos do cádmio sobre o metabolismo bioquímico de *Khaya ivorensis* A. Chev.** Belém, 2020. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia

LOWRY, O. H; ROSEBROUGH, N. J; FARR, A. L; RANDALL, R. J. Protein measurement with the folin phenol reagent. **Department of Pharmacology**. p 265-275, 1951

LUCENA, R. D. de; SILVA, K. K. B. da. Concentrações de nitrogênio em plantas de alface (*Lactuca sativa* Linnaeus) cultivadas em sistemas hidropônicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7, 2016, Campina Grande, PB. **Anais...**

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

LUZ, J. M. Q; GUIMARÃES, S. T. M. R; KORNDORFER, G. H; OLIVEIRA, C. E. P. de. Silício na produção hidropônica de alface. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 50, Guarapari, ES, 2010. **Anais...**

LUZ, J. M. Q; ARRUDA, A. da S; SILVA, J. dos R; OLIVEIRA, R. C. de; LEMES, E. M; SILVA, J. R. R. da; OLIVEIRA, P. L. S. Possível efeito tóxico do nitrogênio em alface cultivada em sistema hidropônico. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE HIDROPONIA, 11. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROPONIA, 3. Florianópolis, SC, 2016, **Anais...**

LUZ, G. L. da; MEDEIROS, S. L. P; BORCIONI, E; LAJÚS, C. R; FERRAZZA, A. C; VERONA, R. B. Ação dos intervalos entre irrigações no sistema radicular da alface em hidroponia. **Interciência**. v. 42, n. 6, p 370-374, 2017

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

MACHADO, M. S. **Aplicação de silicato de potássio em coentro e cebolinha sobre estresse salino da solução nutritiva**. Fortaleza, 2020. 76 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará

MAIA, J. P. **Comportamento agrônômico de cultivares de alface americana em sistema hidropônico**. Jataí, 2019. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 2006.

MALDONADE, I. R. **Manual de boas práticas na produção de alface**. Brasília, DF: Embrapa hortaliças, 2014.

MANSOUR, M. M. F; SALAMA, K. H. A. Cellular basis of salinity tolerance in plants. **Environmental and Experimental Botany**. v. 52, p 113-122, 2004

MARTINS, C. M; MEDEIROS, J. F. DE; LOPES, W. DE A. R; BRAGA, D. F; AMORIM, L. B. DE. Curva de absorção de nutrientes em alface hidropônica. **Rev. Caatinga**. v. 22, n. 4, p 123-128, 2009

MARTINS, C; LEGRAND, B; LEBRUN, A; BERTHOMIEU, D; MARTINEZ, J; CAVELIER, F. Silaproline helical mimetics selectively form an All-trans PPII helix. **Chem. Eur. J.** v. 20, p 14240-14244, 2014

MARAFON, A. C; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana - de - açúcar**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros, 2011 (Documento 165)

MENEZES, R. V; AZEVEDO NETO, A. D. de; RIBEIRO, M. de O; COVA, A. M. W. Growth and contents of organic and inorganic solutes in amaranth under salt stress. **Pesq. Agropec. Trop.** v. 47, n. 1, p 22-30, 2017

MIRANDA, R. de S; ALVAREZ-PIZARRO, J. C; ARAÚJO, C. M. S; PRISCO, J. T; GOMES FILHO, E. Influence of inorganic nitrogen sources on K⁺/Na⁺ homeostasis and salt tolerance in sorghum plants. **Acta Physiol Plant.** v. 35, n. 3, p 841-852, 2013

MUNNS, R; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops-what is the cost? **New Phytologist.** v. 208, p 668-673, 2015

NASCIMENTO, H. H. C. do; SANTOS, C. A. dos; FREIRE, C. S; SILVA, M. A. da; NOGUEIRA, R. J. M. C. Ajustamento osmótico em mudas de Jatobá submetidas à salinidade em meio hidropônico. **Revista Árvore.** v. 29, n. 4, p 641-653, 2015.

NEVES, M. G; SILVA, J. N. da; SILVA, J. L. de S; SOUZA, L. C. de; SIQUEIRA, J. A. M; OLIVEIRA, L. M. de; BARBOSA, R. R. do N; CONCEIÇÃO, A. G. C. da; OLIVEIRA NETO, C. F. de. Teores de prolina, aminoácidos e proteínas solúveis totais em resposta a deficiência hídrica e concentrações de silício em plantas de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012. Águas de Lindóia, SP. **Anais...**

NEVES, J. F; NODARI, I. D. E; SEABRA JÚNIOR, S; DIAS, L. D. E; SILVA, L. B. da; DALLACORT, R. Produção de cultivares de alface americana sob diferentes ambientes em condições tropicais. **Revista Agroambiente online.** v. 10, n. 2, p 130-136, 2016

NEVES JÚNIOR, A. P. das; FREITAS, L. M. de. Utilização do silício na cultura da alface tipo americana. In: SIMPÓSIO DE TCC, 18; SEMINÁRIO DE IC, 15. ICESP, Águas Claras, SP, 2019. **Anais...**

NEVES, M. G; PINHEIRO, S. M.. G; CARDOSO, F. L; MACHADO, F. dos S. MAMBRI, A. P. de S; ANDRIOLO, J. L. Silence on growth and development of lettuce plants. **Brazilian Journal of Development.** v. 6, n. 1, p 2330-2337, 2020

NEVES, M. G. **Metabolismo bioquímico, produção e avaliação pós-colheita em plantas de alface submetidas à aplicação de silicato de cálcio foliar**. Belém, 2020. 57 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia

OLIVEIRA, A. C. B. de; SEDIYAMA, M. A. N; PEDROSA, M. W; GARCIA, N. C. P; GARCIA, S. L. R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 26, n. 2, p 211-217, 2004

OLIVEIRA, F. de A. de; CARRILHO, M. J. S. de O; MEDEIROS, J. F. de; MARACAJÁ, P. B; OLIVEIRA, M. K. T. de. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 8, p 771-777, 2011

PASSOS, L. P. Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal. Coronel Pacheco: **Embrapa Gado de Leite**, 223 p. 1996.

PAULUS, D; PAULUS, E; NAVA, G. A; MOURA, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Rev. Ceres**. v. 59, n. 1, p 110-117, 2012

PEDROSO, F. K. J. V; PRUDENTE, D. A; BUENO, A. C. R; MACHADO, E. C; RIBEIRO, R. V. Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock dependent changes in root growth and carbohydrate availability. **Environmental and Experimental Botany**. v. 101, p 26-35, 2014

PEDROTTI, A; CHAGAS, R. M; RAMOS, V. C; PRATA, A. P. do N; LUCAS, A. A. T; SANTOS, P. B. dos. Causes and consequences of the process of soil salinization. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p 1308-1324, 2015

PEI, Z; MING, D; LIU, D; WANG, G; GENG, X; GONG, H; ZHOU, W. Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. **Journal Plant Growth Regulation**. v. 29, p. 106-115, 2010

PEIXOTO, C. P; CRUZ, T. V. da; PEIXOTO, M. de F. da S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e prática. **Enciclop. Biosf.** 7, 13, p 51-76, 2011

PELOSO, A.F. Teor relativo de água e danos celulares em folha de *Coffea arabica* L submetidas ao déficit hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 43, Poços de Caldas, MG, 2017. **Anais...**

PEOPLE, M. B; FAIZAH, A. W; RERKASEM, B. G; HERRIDGE, D. F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Camberra: Australian Center for International Agricultural Research, 1989

PEREIRA, K. S. de S; SILVA, A. F. da; SILVA, K. da; ANDRADE, E. de. Agroecologia e saúde humana: a produção orgânica por hidroponia. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 19, 2018, João Pessoa, PB, **Anais...**

PINTO, S. I. do C; RAMOS, S. J; ARAUJO, J. L; FAQUIN, V; NOVAIS, C. B; SILVA, K. da; FURTINI NETO, A. E. Silício como amenizador da fitotoxicidade de zinco em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* cultivadas em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p 1005-1014, 2009

POHLMANN, V; KNIES, A. E; LUDWIG, F. Adubação foliar silicatada na cultura do rabanete. **Revista Cultivando o Saber**. v. 12, n. 2, p 108-117, 2019

PORTELA, I. P; PEIL, R. M. N; RODRIGUES, S; FERREIRA, L. V; MARQUES, G. N. Concentração de nutrientes da solução nutritiva: crescimento e produtividade de morangueiro em sistema hidropônico NFT. **Hortic. bras.** v. 30, n. 2, p 3727–3734, 2012.

PÔRTO, M. L. A; ALVES, J do C; SOUZA, A. P de; ARAÚJO, R. da C; ARRUDA, J. A. de; TOMPSON JÚNIOR, U. A. Doses de nitrogênio no acúmulo de nitrato e na produção da alface em hidroponia. **Hortic. bras.** v. 30, n. 3, p 539–543, 2012.

PUGLIESI, N. L. **Capacidade de retenção e frequência de aplicação de solução nutritiva ao sistema radicular da alface em cultivo hidropônico (NFT)**. Viçosa, 2003. 98f. Tese. (Doutorado em Meteorologia Agrícola)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa

RESENDE, G. M de; YURI, J. E; SOUZA, R. J de. Épocas de plantio e doses de silício no rendimento de alface tipo americana. **Hortic. bras.** v. 25, n. 3, p 455–459, 2007.

RESENDE, G. M. de; YURI, J. E; MOTA, J. H. Épocas de plantio e doses de nitrogênio no rendimento e qualidade pós-colheita de alface americana. **Horticultura brasileira**. v. 30, n. 2, p 6665-6672, 2012

RIBEIRO, E. F. **Desempenho de diferentes substratos em cultivo de alface aquaponico e hidroponico**. Dourados, 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados

RIZWAN, M; ALI, S; IBRAHIM, M; FARID, M; ADREES, M; BHARWANA, S. A. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. **Environ. Sci. Pollut. Res. Int.** v. 22, p 15416-15431, 2015

ROCHA, I. M. A. DA; VITORELLO, V. A; SILVA, J. S; SILVA, S. L. F; VIÉGAS, R. A; SILVA, E. N; SILVEIRA, J. A. G. Exogenous ornithine is an effective precursor and the δ -ornithine amino transferase pathway contributes to proline accumulation under high N recycling in salt-stressed cashew leaves. **J. Plant Physiol.** v. 169, p 41- 49, 2012

ROCHA, B. C. P. **Metabolismo do nitrogênio em cafeeiro submetido ao déficit hídrico e doses de nitrato**. Viçosa, 2019. 39 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa

ROCHA, D. C; SILVA, B. F. I. da; SANTOS, J. M. M. dos; TAVARES, D. S; PAULETTI, V; GOMES, M. P. Do nitrogen sources and molybdenum affect the nutritional quality and nitrate concentrations of hydroponic baby leaf lettuce? **Journal of Food Science**. v. 85, n. 5, p 1605-1612, 2020

RODRIGUES, A. J. O; NUNES, L. R. de L; NUNES, A. M. C; UCHÔA, K. S. A. Efeito da adubação silicatada no cultivo de tomateiro sob estresse salino. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v. 14, n. 2, p 141-148, 2018

SANCHES, R. F. E. **Relações hídricas e respostas ao déficit hídrico da espécie *Bauhinia forficata* Link: mecanismos de manutenção do status hídrico**. Piracicaba, 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Ciências - Fisiologia e Bioquímica de Plantas, Universidade de São Paulo

SANTANA, J. S; NASCIMENTO, C. H. S; SILVA, C. M. da; SILVA, W. A. da; DAMASCENA, J. F. Resposta de cultivares de alface sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer**. v. 16, n. 29, p 1332-1346, 2019

SANTOS, R. S; DANTAS, D da C; NOGUEIRA, F. P; DIAS, N da S; FERREIRA NETO, M; GURGEL, M. T. Utilização de águas salobras no cultivo hidropônico da alface. **Irriga**. v. 15, n. 1, p 111-118, 2010.

SANTOS, C. F; LIMA, G. P. P; MORGADO, L. B. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão-caupi submetido a estresse hídrico na pré-floração. **Naturalia**. v. 33, p 34-44, 2010

SANTOS, M. C dos; JUNQUEIRA, A. M. R; SÁ, V. G. M de; ZANÚNCIO, J. C; BAUCH, M. A; SERRÃO, J. E. Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v. 2, n. 1. p 76-88, 2012.

SANTOS, C. C; SILVA, M. S; CONCEIÇÃO, A. L. S; SILVA, N. D; BONSUCESO, J. S. Avaliação de desenvolvimento de alface tipo cresspa em diferentes substratos sob ambiente protegido no recôncavo baiano. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, n. 15. p 281-290, 2012

SANTOS, S. B. T; MENEZES, S. M. de; LIMA, D. F; BARROS, D. T. S; SANTOS, D. P. dos; SANTOS, M. A. L. dos. Desenvolvimento da alface americana (*Lactuca sativa*)

submetida a diversos níveis de salinidade. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 25, 2015, **Anais...**

SANTOS, J. F. dos. **Cultivo hidropônico de manjeriço sob estresse salino: crescimento, produção e aspectos bioquímicos**. Cruz das Almas, 2017. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

SANTOS, J. F. dos; CRUZ, J. L.; SOARES, T. M.; CRUZ, A. M. L. Growth, water consumption and basil production in the hydroponic system under salinity. **Rev. Ceres**. v. 66, n. 1, p 045-053, 2019

SANTOS, C. M. G. dos; TROVATO, V. W.; MATOS, A. M. do N.; MAR, G. D. do; CAPRISTO, D. P.; SILVA, J. A. dos S.; SILVA, B. N. P. da. Effect of silicon application on the germination of pepper seeds under salt stress. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p 1-14, 2020

SANTOS, R. H. S. dos; DIAS, M. dos S.; SILVA, F. de A. da; SANTOS, J. P. de O. S.; SANTOS, S. C. dos; REIS, L. S.; TAVARES, C. L. Desempenho da rúcula sob condições de sombreamento e níveis de salinidade da água de irrigação. **Colloquium Agrariae**. v. 16, n. 4, p 38-45, 2020

SAKAMOTO, M.; SUZUQUI, T. Effect of root-zone temperature on growth and quality of hydroponically grown red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Red wave). **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p 2350-2360, 2015

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R. de; PIAUILINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera Centro Científico Conhecer**. v. 8, n. 15, p 1563-1578, 2012

SHI, Y.; WANG, Y.; FLOWERS, T. J.; GONG, H. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 170, p 847-853, 2013

SHI, Y.; ZHANG, Y.; HAN, W.; FENG, R.; HU, Y.; GUO, J.; GONG, H. Silicon enhances water stress tolerance by improving root hydraulic conductance in *Solanum lycopersicum* L. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 196, p 1-15, 2016

SILVA, D. F. da; MICHELON, N.; ORSINI, F.; TROMBONI, F.; GIANQUITO, G. P. **Manual prático de horticultura hidropônica para cultivar hortaliças em área urbana e periurbana**. Teresina: Funaci, 2007.

SILVA, E. M. C. P. da; FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E. de; TAVELLA, L. B.; SOLINO, A. J. S. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 2, p 242–245, 2011.

SILVA, F. L. B. da; LACERDA, C. F. de; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G. de; SOUSA, C. H. C. de; FEERIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, v. 18, n. 2, p 304-317, 2013

SILVA, E. S. da. **Efeito das concentrações de nitrogênio e silício em plantas de milho e de trigo sob cultivo hidropônico**. Jaboticabal, 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção vegetal)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista

SILVA, M. L. S. ; FEIJAO, A. R. ; MARQUES, E. C. ; SILVA, M. L. S. ; GOMES FILHO, E. ; PRISCO, J. T. . Growth, accumulation of solutes and nitrogen metabolism in plants of sunflower under salt stress. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON SALINITY & II BRAZILIAN MEETING ON IRRIGATION, 2, Fortaleza, CE, 2014. **Anais...**

SILVA, M. L dos S. **Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas jovens de arroz tratadas com silício submetidas ao estresse salino**. Fortaleza, 2015, 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará

SILVA, M. L. de S; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações agrônômicas**. Nº 49, p 10-16, 2015

SILVA, E. N; SILVEIRA, J. A. G; RODRIGUES, C. R. F; VIÉGAS, R. A. Physiological adjustment to salt stress in *Jatropha curcas* is associated with accumulation of salt ions, transport and selectivity of K⁺, osmotic adjustment and K⁺/Na⁺ homeostasis. **Plant Biology**, v. 17, p 1023-1029, 2015

SILVA, M. G da; SOARES, T. M; VASCONCELOS, R. S; COSTA, I. P; GHEYI, H. R; ALVES, L. S. Monitoramento de elementos meteorológicos e temperatura da solução nutritiva hidropônica em ambiente protegido com uso do arduino. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4, Fortaleza, CE, 2017, **Anais...**

SILVA, E. C. A. da; LUCENA, P. G. C. de; NASCIMENTO, R. M. do; SANTOS, C. A. do; ARAÚJO, R. P. S. de; NOGUEIRA, R. J. M. C. Mecanismos bioquímicos em *Moringa oleifera* Lam. para tolerância a salinidade. **Acta Iguazu**. v. 6, n. 4, p 54 - 71, 2017

SILVA, A. L. da; NASCIMENTO, M. N. do; TANAN, T. T; OLIVEIRA, U. C. de; LIMA, J. do C. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção de alface crespa. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**. v. 14, n. 26, p 328-337, 2017

SILVA JÚNIOR, E. G. da; SILVA, A. F. da; LIMA, J. de S; SILVA, M. F. C. da; MAIA, J. M. Vegetative development and content of calcium, potassium, and sodium in watermelon under salinity stress on organic substrates. **Pesq. agropec. bras.** v. 52, n. 12, 2017

SILVA, J. S. da; PAZ, V. P. da S; SOARES, T. M; ALMEIDA, W. F. de; FERNANDES, J. P. Produção de alface em sistema hidropônico NFT com águas salobras. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 39, n. 3, p 947-962, 2018.

SILVA, A. A. **Suplementação com silício no crescimento, produtividade e qualidade dos frutos de mini tomate sob diferentes níveis de salinidade**. Bom Jesus, 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Piauí

SILVA JÚNIOR, E. G. da. **Ação do silício nos mecanismos fotossintéticos e osmóticos em plantas de mamoeiro cultivadas sob condições de déficit hídrico**. Campina Grande, 2018. 51 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba.

SILVA, D. M. P. da. **Doses e fontes de nitrogênio na nutrição de tomate de mesa**. Botucatu, 2019. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Horticultura)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

SILVA, G. P. da; PRADO, R. de M. Atributos químicos do solo em resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada associada ao uso de silício. **Acta Tecnológica**. v. 14, n. 1, p 67-78, 2019

SILVA, S. S. da; LIMA, G. S. de; LIMA, V. L. A. de; GHEYI, H. H; SOARES, L. A. dos A; PINHEIRO, F. W. A. Relações hídricas em melancia sob estratégia de irrigação com águas salinas e doses de nitrogênio. In: INOVAGRI MEETING VIRTUAL, 2019, **Anais...**

SILVA, M. G. da; COSTA, I. P; ALVES, L. S; SOARES, T. M; GHEYI, H. R. Cultivo de coentro nos sistemas hidropônicos DFT convencional vs. adaptado em tubos de PVC sob diferentes lâminas de solução nutritiva. In: INOVAGRI MEETING VIRTUAL, 2020, **Anais...**

SILVA, D. L. da. **Relação do cálcio e do silício na produção de matéria seca e na qualidade de plantas de repolho e de rúcula**. Jaboticabal, 2021. 70 f. Dissertação (Mestrado

em Agronomia - Produção Vegetal)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista

SILVEIRA, J. A. G; SILVA, S. L. F; SILVA, E. N; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R; DIAS, N. da S; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (Ed) **Manejo da Salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2 ed. Fortaleza: INCTSal, 2010, p 181-196

SIMÕES, W. L; COELHO, D. S; MESQUITA, A. C; GALGARO, M; SILVA, J. S. da. Physiological and biochemical responses of sugarcane varieties to salt stress. **Rev. Caatinga**. v. 32, n. 4, p 1069-1076, 2019

SOARES, J. D. R; PASQUAL, M; RODRIGUES, F. A; VILLA, F; ARAÚJO, A. G. de. Silicon sources in the micropropagation of the Cattleya group orchid. **Acta. Sci. Agron**, v. 33, n. 3, p 503-507 , 2011

SOARES, C. S; SILVA, J. A; SILVA, G. N; BRITO NETO, J. F. Avaliação da alface em duas épocas de semeio em sistema hidropônico. **Journal of Biology & Pharmacy Agricultural Management**. v. 16, n. 1, p 1-16, 2020

SOUSA, G. G. de; RODRIGUES, V. dos S; SALES, J; R. da S; CAVALCANTE, F; SILVA, G. L. da; LEITE, K. N. Estresse salino e cobertura vegetal morta na cultura do milho. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 12, n. 7, p 3018-3089, 2018

SOUSA, V. F. de O. Efeito da adubação silicatada em pimenteira sob estresse salino. **Open Journal Systems**. v. 1, n. 2, p 42-46, 2019

SOUSA, J. I; FREITAS, C. A. S. de; SANTOS, F. G. B. dos; SARAIVA, K. R; CARVALHO, C. M. de; CUNHA, L. de S; FREITAS, R. M. O. de. Use of different saline concentrations of the nutrient solution in the production of lettuce cultivars in hydroponic cultivation. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020

SOUSA, B. S. das N. de; MENDES, W. J. C; GUSMÃO, S. A. L. de. Avaliação da produção de cultivares de alface sob diferentes ambientes de cultivo e fontes de adubação nitrogenada no município de Belém, Pará, Brasil. **Observatorio de La Economía Latinoamericana**, 2020

SOUZA, L. C. de; SIQUEIRA, J. A. M; SILVA, J. L. de. S; COELHO, C. C. R; NEVES, M. G; OLIVEIRA NETO, C. F. de. Osmorreguladores em plantas de sorgo sob suspensão hídrica e diferentes níveis de silício. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p 240-249, 2013

SOUZA, L. C. de; SIQUEIRA, J. A. M; SILVA, J. L. de S; SILVA, J. N. da; COELHO, C. C. R; NEVES, M. G; OLIVEIRA NETO, C. F. de; LOBATO, A. K. da S. Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v. 13, n. 2, p 117-128, 2014

SOUZA, R. S. **Fertirrigação com nitrogênio e silicato de potássio na cultura de alface (*Lactuca sativa* L) em ambiente protegido**. Maringá, 2015. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Produção vegetal)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá

SOUZA, E. G. F; RIBEIRO, R. M. P; PEREIRA, L. A. F; SILVA NETO, J. S de S; BARROS JÚNIOR, A. P; SILVEIRA, L. M. da. Produtividade de cultivares de alface em função da idade de colheita no semiárido Potiguar, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 13, n. 3, p 282-288, 2018.

SOUZA, J. Z. de; PRADO, R. de M; SILVA, S. L. de O; FARIAS, T. P; GARCIA NETO, J; SOUZA JÚNIOR, J. P. de. Silicon leaf fertilization promotes biofortification and increases dry matter, ascorbate content, and decreases post-harvest leaf water loss of chard and kale. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 50, p 164-172, 2018

SOUZA JÚNIOR, J. P. de. **Silício como mitigador de deficiência e toxicidade de boro na cultura do algodão cultivado em solução nutritiva**. Jaboticabal, 2018. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do solo)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista

SOUZA, S. R. de; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S; SOUZA, S. R. de; SANTOS, L. A (ed). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa, MG, 2018

TAIZ, L; ZAIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artamed, 2017.

TEIXEIRA, W. F; FAGAN, E. B; SILVA, J. O; SILVA, P. G; SILVA, F. M; SOUSA, M. C; CANEDO, S. C. Atividade da enzima nitrato redutase e crescimento de *Swietenia macrophylla* King sob efeito de sombreamento. **Floresta e Ambiente**. v. 20, n. 1, p 91-98, 2013

TEIXEIRA, G. C. M; ROCHA, A. M. S; OLIVEIRA, K. S; SARAH, M. M. dos S; OLIVEIRA FILHO, A. S. B; PRADO, R. de M; PALARETTI, L. F. Silício na mitigação dos estresses por deficiência de manganês e pelo déficit hídrico em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (Revisão bibliográfica). **Científica**. v. 48, n. 2, p 170-187, 2020

TENESACA, L. F. L. **Silício na modificação da estequiometria C:N:P, eficiência nutricional, produtividade e biofortificação da Quinoa**. Jaboticabal, 2021. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção vegetal)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista

TROLL, W; LINDSLEY, J. A photometric method for the determination of proline. **J Biol Chem**. v. 215, n. 2, p 655-660, 1955

YEMM, E.W. & COCKING, E.C. The determination of amino acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n 948, p. 209-213. 1955.

YURI, J. E; RESENDE, G. M; COSTA, N. D; GOMES, A. S. Agronomic performance of crisphead lettuce genotypes at Sub-Middle São Francisco Valley. **Hortic. Bras**. v. 35, n. 2, p 292-297, 2017

XAVIER, V. L. **Teor de nitrato em alfaces comercializadas na cidade do Recife produzidas sob diferentes sistemas de cultivo**. Vitória de Santo Antão, 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Humana e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Saúde Humana e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco.

ZIMERMANN, G; LOSS, V. P; SORDI, A. Avaliação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) após a aplicação de silício na raiz. In: ANUÁRIO PESQUISA E EXTENSÃO UNOESC. São Miguel do Oeste, SC. 2020. **Anais...**

APÊNDICES

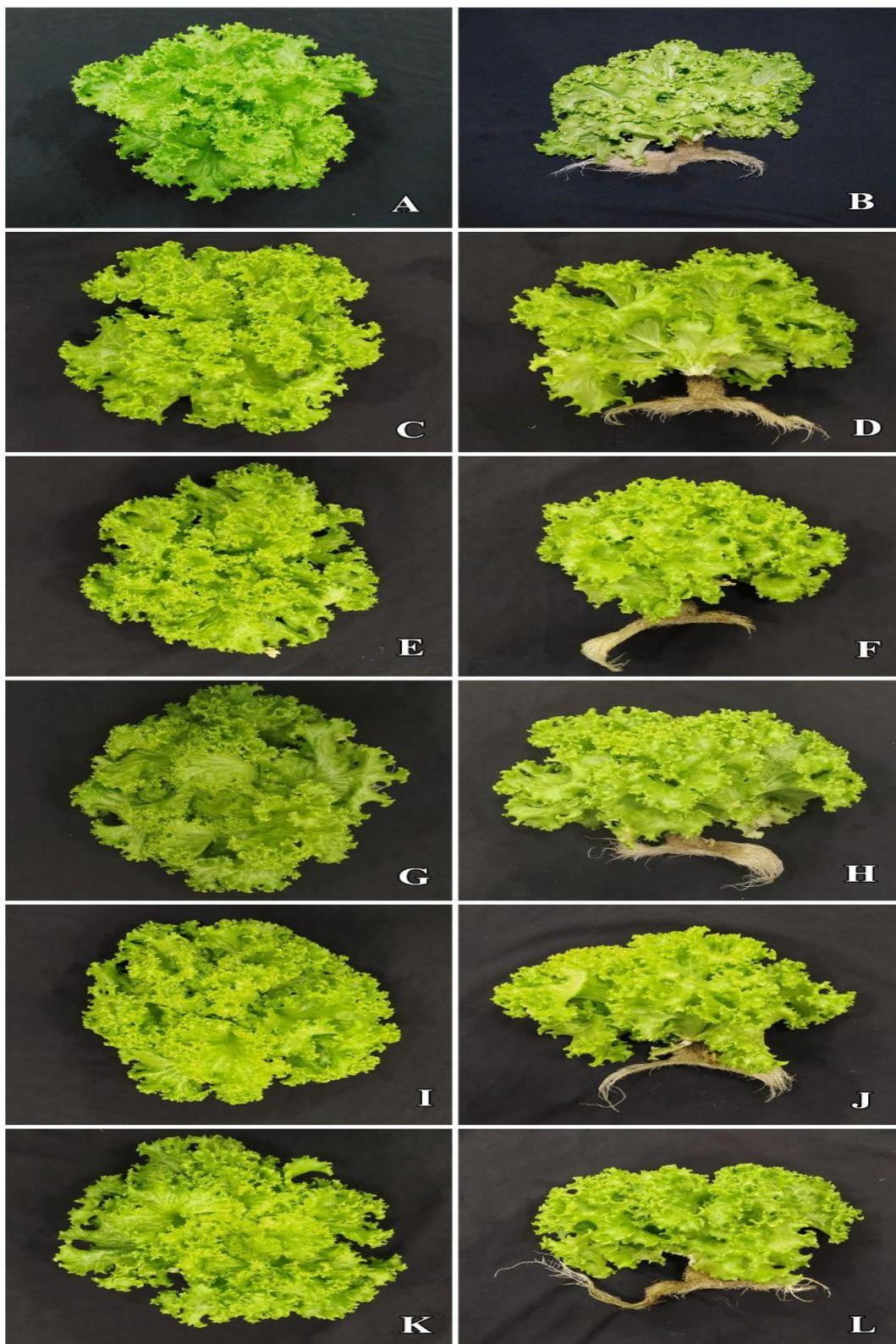
APÊNDICE A - Tabela de acompanhamento da solução nutritiva quanto a temperatura (°C), consumo hídrico (ml) e condutividade elétrica (dSm⁻¹) durante os dias do 1º experimento. (C1SS) condutividade 1 dSm⁻¹ sem silício; (C2SS) condutividade 2 dSm⁻¹ sem silício; (C3SS) condutividade 3 dSm⁻¹ sem silício; (C1CS) condutividade 1 dSm⁻¹ com silício; (C2CS) condutividade 2 dSm⁻¹ com silício; (C3CS) condutividade 3 dSm⁻¹ com silício

TRATAMENTOS/DIAS DE CONSUMO	TEMPERATURA (°C)						CONSUMO HÍDRICO (ml)						CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (dSm ⁻¹)					
	C1SS	C2SS	C3SS	C1CS	C2CS	C3CS	C1SS	C2SS	C3SS	C1CS	C2CS	C3CS	C1SS	C2SS	C3SS	C1CS	C2CS	C3CS
1	26,0	26,0	27,5	27,5	27,0	26,5	1250	1250	1500	1400	0550	1800	1,00	1,90	2,90	0,90	1,85	2,90
2	27,5	29,0	29,5	29,0	29,5	29,5	0900	0750	1000	1400	0900	0900	1,00	2,00	3,05	1,00	1,95	3,00
3	20,0	29,5	30,0	31,5	30,0	30,5	1000	0950	0975	2050	0950	0550	0,95	1,95	3,10	0,90	1,95	3,10
4	27,5	28,5	29,0	31,5	30,0	30,0	1250	1250	1250	1550	1050	1000	0,95	1,95	3,05	0,95	2,00	3,10
5	29,0	30,0	29,0	30,0	29,5	29,5	1300	1350	1250	1700	1250	1150	0,85	1,85	2,90	0,90	1,90	3,00
6	30,0	30,5	29,5	29,0	29,0	29,0	1600	1800	1400	1800	1500	1250	0,90	1,80	3,00	0,90	1,90	3,00
7	28,0	30,0	29,5	30,5	30,5	30,5	1650	1400	1300	2000	1700	1150	0,95	1,95	3,05	0,85	1,80	2,95
8	25,5	31,0	30,5	30,5	30,5	31,0	1800	2000	1750	2000	1900	1650	0,85	1,75	3,30	0,85	1,85	3,20
9	28,5	28,0	27,5	28,5	29,0	28,5	1650	2100	1650	2000	1750	1450	0,90	1,80	3,35	0,80	1,80	3,15
10	26,0	26,0	25,5	26,0	25,5	27,5	1500	2100	1450	1500	1450	1650	1,00	1,90	3,10	1,00	2,00	3,10
11	26,5	28,5	29,5	29,0	29,0	29,0	1850	1750	1750	1850	1850	1750	0,85	1,85	2,90	0,85	1,85	2,95
12	20,5	29,0	28,5	28,5	28,5	29,0	2900	2650	1500	2350	2250	2250	0,80	1,80	2,20	0,85	1,80	2,95
13	24,5	26,5	27,5	28,5	29,0	25,5	1900	2250	1750	2400	2350	1900	0,90	1,95	3,10	0,80	1,70	2,90
14	24,5	27,0	27,5	28,5	29,5	30,0	2400	2400	1850	2400	2500	1500	0,85	1,80	3,05	0,85	1,70	2,95
15	28,0	29,0	29,0	29,5	29,0	29,0	2750	2300	1900	2500	2600	2100	0,85	1,70	3,00	0,85	1,90	3,00
Média	27,2	28,5	28,6	29,2	29,0	29,0	1713,33	1753	1485	1926	1636	1470	0,90	1,80	3,00	0,88	1,80	3,00

APÊNDICE B - Tabela de acompanhamento da solução nutritiva quanto a temperatura (°C), consumo hídrico (ml) e condutividade elétrica (dSm⁻¹) durante os dias do 2º experimento. (N1SS) 0,05 M KNO₃ sem silício; (N2SS) 0,04 M KNO₃ sem silício; (N3SS) 0,03 M KNO₃ sem silício; (N1CS) 0,05 M KNO₃ com silício; (N2CS) 0,04 M KNO₃ com silício; (N3CS) 0,03 M KNO₃ com silício

TRATAMENTOS/DIAS DE CONSUMO	TEMPERATURA (°C)						CONSUMO HÍDRICO (ml)						CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (dSm ⁻¹)					
	N1SS	N2SS	N3SS	N1CS	N2CS	N3CS	N1SS	N2SS	N3SS	N1CS	N2CS	N3CS	N1SS	N2SS	N3SS	N1CS	N2CS	N3CS
1	30,0	30,5	30,5	28,0	28,5	29,0	1000	0,950	0,950	0,700	0900	0900	1,50	1,55	1,55	1,60	1,55	1,55
2	30,0	30,5	30,0	30,0	30,0	30,0	0650	1100	1500	0,900	0850	0950	1,45	1,40	1,35	1,45	1,35	1,40
3	30,0	30,0	30,0	29,5	29,5	29,5	1050	1100	1250	1400	0650	0950	1,50	1,25	1,40	1,30	1,55	1,30
4	30,0	30,5	30,0	30,0	29,5	30,5	1250	1250	1450	1050	1150	1050	1,65	1,60	1,50	1,45	1,70	1,40
5	30,0	31,0	30,5	31,0	30,5	30,5	1250	1400	1550	1350	1150	1400	1,50	1,50	1,30	1,55	1,60	1,55
6	29,0	29,0	29,0	28,0	28,0	28,0	1050	1100	1000	1200	0950	1000	1,30	1,30	1,45	1,50	1,45	1,40
7	31,0	31,0	31,0	29,5	29,5	30,0	1600	1300	1400	1400	1300	1500	1,25	1,25	1,50	1,30	1,30	1,30
8	29,5	30,0	30,0	28,0	29,0	29,5	1750	1550	1400	2750	1300	1600	1,30	1,30	1,30	1,30	1,25	1,30
9	30,5	30,5	30,5	30,0	30,5	30,5	1450	1400	1400	1400	1000	1350	1,35	1,35	1,30	1,40	1,35	1,30
10	29,5	30,5	30,0	27,5	28,0	28,5	1800	1750	1250	1500	1550	1650	1,40	1,30	1,30	1,45	1,35	1,35
11	30,0	30,5	30,5	26,0	27,5	29,0	1400	1200	1500	1900	1100	1350	1,30	1,30	1,30	1,25	1,30	1,30
12	30,0	30,0	30,5	30,0	30,0	30,0	2100	1850	1900	1550	1750	2250	1,30	1,30	1,20	1,25	1,30	1,25
13	31,5	31,5	31,5	31,0	31,0	31,5	2300	2200	2050	1900	2100	2150	1,25	1,30	1,30	1,35	1,45	1,30
14	30,5	31,0	31,0	31,0	30,0	30,0	2350	2650	2000	2050	2100	2700	1,30	1,30	1,35	1,35	1,60	1,25
15	31,5	31,5	31,5	30,5	30,5	30,5	2450	2600	2150	2200	2350	2300	1,30	1,25	1,35	1,35	1,35	1,30
Média	30,2	30,5	28,6	29,3	29,4	29,8	1563	1560	1516	1550	1346	1540	1,37	1,35	1,36	1,39	1,43	1,35

APÊNDICE C - Plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico durante o 1º experimento; visão da parte aérea e da raiz. (A, B) condutividade 1 dSm⁻¹ sem silício; (C, D) condutividade 2 dSm⁻¹ sem silício; (E, F) condutividade 3 dSm⁻¹ sem silício; (G, H) condutividade 1 dSm⁻¹ com silício; (I, J) condutividade 2 dSm⁻¹ com silício; (K, L) condutividade 3 dSm⁻¹ com silício



APÊNDICE D - Plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico durante o 2º experimento; visão da parte aérea e da raiz. (A, B) 0,05 M KNO_3 sem silício; (C, D) 0,04 M KNO_3 sem silício; (E, F) 0,03 M KNO_3 sem silício; (G, H) 0,05 M KNO_3 com silício; (I, J) 0,04 M KNO_3 com silício; (K, L) 0,03 M KNO_3 com silício

