



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS IV
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRÁRIAS E EXATAS
CURSO DE AGRONOMIA**

DHAYANE DOS SANTOS SOUZA

**OSMOPROTEÇÃO E MOBILIZAÇÃO DE ÍONS EM ALFACE HIDROPÔNICO
SUBMETIDO A ESTRESSE SALINO E SUPLEMENTADA COM SILÍCIO**

**CATOLÉ DO ROCHA, PB
2022**

DHAYANE DOS SANTOS SOUZA

**OSMOPROTEÇÃO E MOBILIZAÇÃO DE ÍONS EM ALFACE HIDROPÔNICO
SUBMETIDO A ESTRESSE SALINO E SUPLEMENTADAS COM SILÍCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado ao Departamento do Curso de
Agronomia da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Agronomia

Área de concentração: Fisiologia de Plantas
Cultivadas.

Orientador: Prof. Dr. Josemir Moura Maia.

Coorientador: Dr. Anselmo Ferreira da Silva.

**CATOLÉ DO ROCHA, PB
2022**

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.

S729o Souza, Dhayane dos Santos.

Osmoproteção e mobilização de íons em alface hidropônica submetido a estresse salino e suplementada com silício. [manuscrito] / Dhayane dos Santos Souza. - 2022.
31 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Josemir Moura Maia , Coordenação do Curso de Ciências Agrárias - CCHA."

1. Hidroponia. 2. Hortaliças. 3. Estresse abiótico. I. Título

21. ed. CDD 631.585

DHAYANE DOS SANTOS SOUZA

**OSMOPROTEÇÃO E MOBILIZAÇÃO DE ÍONS EM ALFACE HIDROPÔNICO
SUBMETIDO A ESTRESSE SALINO E SUPLEMENTADAS COM SILÍCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento do Curso de Agronomia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Área de concentração: Fisiologia de Plantas Cultivadas.

Aprovada em: 12/06/2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Josemir Moura Maia
Universidade Estadual da Paraíba
Campus IV-CCPA-DAE
Mat. nº 4.25243-6

Prof. Dr. Josemir Moura Maia (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Me. Ivanice da Silva Santos
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)



Prof. Dr. Paulo Cássio Alves Linhares
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – (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.....13
- Figura 2 – 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..... 14
- Figura 3 – 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..... 15
- Figura 4 – 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.....16

SUMÁRIO

	RESUMO	5
	ABSTRACT	6
1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1	Aspectos botânicos e econômicos da alface (<i>Lactuca sativa</i> L.)	8
2.2	Viabilidade econômica e produtiva da hidroponia para a agricultura familiar do Semiárido	8
2.3	Efeitos do Si sob a concentração de nutrientes	9
3	Material e Metodos	11
4	RESULTADOS	13
5	DISCUSSÃO	18
6	CONCLUSÕES	21
	REFERÊNCIAS	22

OSMOPROTEÇÃO E MOBILIZAÇÃO DE ÍONS EM ALFACE HIDROPÔNICO SUBMETIDO A ESTRESSE SALINO E SUPLEMENTADAS COM SILÍCIO

OSMOPROTECTION AND ION MOBILIZATION IN HYDROPONIC LETTUCE SUBMITTED TO SALINE STRESS AND SUPPLEMENTED WITH SILICON

SOUZA, Dhayane dos Santos *
MAIA, Josemir Moura **

RESUMO

A região semiárida brasileira é caracterizada por possuir condições edafoclimáticas que muitas vezes, levam a uma baixa produtividade agrícola, como por exemplo, a salinidade de suas águas subterrâneas utilizadas na irrigação, sendo de extrema importância a adoção de técnicas de cultivo que assegurem melhores rentabilidades nessas condições. A hidroponia é uma técnica de cultivo em solução nutritiva, a qual se torna uma alternativa viável para o enfrentamento a essas problemáticas, já que essa técnica possibilita o uso racional da água e dos insumos de cultivo. No entanto, faz-se necessário um adequado manejo da mesma, pois altas concentrações de sais, assim como a presença de nitrato em excesso, podem acarretar prejuízos ao desenvolvimento fisiológico e produtivo do vegetal. Dentre os elementos químicos que podem ser utilizados na hidroponia, o silício tem sido considerado benéfico e promissor no aumento da performance produtiva de diversas culturas agrícolas. Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar as respostas osmoprotetoras e mobilização de íons em alfaces hidropônicas submetidas a estresse salino e suplementadas com silício. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas e fatorial 3x2, com 3 condutividades elétricas (1 dSm⁻¹, 2 dSm⁻¹ e 3 dSm⁻¹) e duas doses de silício (0 e 0,4 mM). Os parâmetros analisados foram os Açúcares Solúveis Totais (AST), Açúcares Redutores (AR) e Não Redutores (ANR), Aminoácidos Livres Totais (AALT), Prolina (PRO), Proteínas (PT) e o conteúdo de sais (Na⁺, Ca²⁺ e K⁺). Diante do exposto conclui-se que a adição de Si à solução nutritiva influenciou as respostas osmoprotetoras das plantas de alface hidropônicas, já com relação aos íons, observou-se o maior acúmulo de Na⁺ na parte radicular das plantas como forma de adaptação ao estresse salino e o contato direto das raízes com o silício possibilitou respostas positivas das mesmas ao estresse salino, demonstrando que em condições de salinidade esse elemento é indicado para o cultivo de alface em hidroponia.

Palavras-chave: Hidroponia; Hortaliças; Estresse abiótico.

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region is characterized by edaphoclimatic conditions that often lead to low agricultural productivity, such as the salinity of its groundwater used in irrigation, and it is extremely important to adopt cultivation techniques that ensure better returns in these areas conditions. Hydroponics is a nutrient solution cultivation technique, in which it becomes a viable alternative to face these problems since this technique allows the rational use of water and cultivation inputs. However, it is necessary to properly manage it, as high nutritional concentrations, as well as the presence of excess nitrate, can damage the physiological and productive development of the plant. Among the chemical elements that can be used in hydroponics, silicon has been considered beneficial and promising in increasing the productive performance of several agricultural crops. Thus, the present study aimed to evaluate osmoprotective responses and ion mobilization in hydroponic lettuces subjected to saline stress and supplemented with silicon. The experiment was set up in a completely randomized design, with split-plot and 3x2 factorial, with 3 electrical conductivities (1 dSm⁻¹, 2 dSm⁻¹ and 3 dSm⁻¹) and two doses of silicon (0 and 0.4 mM). The parameters analyzed were Total Soluble Sugars (TSS), Sugar Reducer (SR) and Non-Reducing Sugars (NRS), Total Free Amino Acids (TFAA), Proline (PRO), Proteins (PT) and salt content (Na⁺, Ca²⁺ and K⁺). In view of the above, it is concluded that the addition of Si to the nutrient solution influenced the osmoprotective responses of hydroponic lettuce plants. and the direct contact of the roots with the silicon made possible positive responses of the same to the saline stress, demonstrating that in salinity conditions this element is indicated for the cultivation of lettuce in hydroponics.

Keywords: Hydroponics; Vegetables; Abiotic stress.

*Aluna de Graduação em Bacharel em Agronomia pela Universidade Estadual da Paraíba, Campus IV.
dhayanesouza94@gmail.com

**Professor do Departamento de Agrárias e Exatas, Universidade Estadual da Paraíba, Campus IV.
jmouram@servidor.uepb.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O maior desafio enfrentado pelo pequeno agricultor na região do semiárido brasileiro se faz em relação a fatores climáticos como temperatura excessiva, alta luminosidade e evapotranspiração, radiação elevada, entre outros, e ainda, mas principalmente à condição qualitativa da água disponível para o uso agrícola, muitas vezes de constituição salina. Essas condições climáticas levam ao estado vegetal de estresse, influenciando assim, rotas metabólicas de extrema importância como a fotossíntese, até a formação de compostos tóxicos e oxidativos, afetando a produção de forma direta. É necessário então que haja a adoção de alternativas sustentáveis que possibilitem um maior desenvolvimento e adaptação às condições climáticas e socioambientais da região (BARROS; CHAVES; PEREIRA, 2015).

Dentro desse viés, a hidroponia se apresenta como uma alternativa viável e de alta adaptabilidade às condições climáticas da região. A hidroponia 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 (PEREIRA et al., 2018). Essa técnica de cultivo em ambiente protegido, na qual o solo é substituído por uma solução nutritiva contendo todos os macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento da cultura, também é conhecida como cultivo sem solo (FACTOR; ZAMBROSI; FURLANI, 2014). A cultura de maior aplicabilidade ao sistema hidropônico é a alface (*Lactuca sativa* L.), cultura anual, originária de clima temperado, pertencente à família botânica Asteraceae e uma das hortaliças folhosas mais populares e consumidas no Brasil e no mundo (HENZ; SUINAGA, 2009). A alface (*Lactuca sativa* L.) é a cultura mais produzida no Brasil pela hidroponia (GUIMARÃES et al., 2017a). Porém, seu cultivo faz frente às condições climáticas locais, ao uso eficiente da água, além da alta susceptibilidade na absorção e acumulação de nutrientes (COMETTI; GALON; BREMENKAMP, 2019).

Como alternativa a essas problemáticas têm-se o silício (Si), elemento benéfico estudado e aplicado à agricultura como mitigador dos efeitos deletérios diante de condições adversas aos vegetais (CÂNDIDO et al., 2020). O Si pode causar ainda diluição dos sais acumulados nos tecidos, a partir do aumento na atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), enzimas responsáveis por amenizar os efeitos deletérios dos estresses abióticos (LEMO NETO, 2019), assim como pelo aumento na produção de solutos compatíveis e removedores de radicais livres, como a prolina e a glicina betaína (SZABADOS; SAVOURE, 2010; LISAR, et al., 2012).

Em estudos de Araújo (2017) com variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) submetidas ao estresse salino e suplementadas com Si, a autora pôde comprovar o aumento no teor de prolina, o que resultou em uma maior osmoproteção para as plantas. De forma semelhante, Silva Júnior (2018) observou atenuação também dos efeitos do déficit hídrico de variedades de feijão-caupi a partir da suplementação com o Si.

O estresse salino, de acordo com Rizwan et al. (2015), o Si influencia o transporte e acúmulo de Na^+ , Ca^{2+} e K^+ , a partir da redução do conteúdo de Na^+ e aumento da concentração de K^+ . Segundo Menezes et al. (2017) o incremento do Si possibilitou o equilíbrio entre o transporte e acúmulo de Na^+ e K^+ , desempenhando um importante papel na integridade das membranas celulares em genótipos de manjerição hidropônico. Dessa forma, Luz et al. (2016) relatam que o Si pode ser uma alternativa viável para a produção hidropônica de hortaliças. Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar as respostas osmoprotetoras e mobilização de íons em alfaces hidropônicas submetidas a estresse salino e suplementadas com silício.

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 ao 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., 2017b).

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

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 dos 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 brasileiro 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; BARRETO, 2012).

A água salina, caracterizada pelas elevadas concentrações de sais solúveis, as quais levam a uma condutividade elétrica (CE) maior que 4 dS m⁻¹ (MUNNS; GILLIHAM, 2015; FREITAS, 2018), também é um desafio aos pequenos agricultores da região, 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), relatam 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. Além disso, é 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) aborda 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 investido. 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 hidroponica 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. (2010a) 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 brasileiro 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 Efeitos do Si sob a concentração de nutrientes

Além dos macro 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; SOUZA, 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 brasileiro. 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 ($\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$) (TAIZ et al., 2017; SANTOS et al., 2020). 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.

Tem se observado ainda, que o Si diminui o efeito deletério provocado pelo excesso de sais, aumentando o conteúdo de água das plantas e o efeito de diluição dos 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, observaram em 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) relatam 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.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no setor experimental em casa de vegetação do Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV), na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus IV, Catolé do Rocha, Paraíba, mesorregião do Sertão Paraibano com precipitação

média anual de 870 mm, temperatura média de 27 °C com período chuvoso concentrando-se entre os meses de fevereiro a abril. A área situa-se a 6° 35' de latitude S e 37° 72' de longitude W.

O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado (DIC), em parcela subdividida e com combinações em esquema fatorial de 3x2, sendo 3 condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva [1,0 dSm⁻¹; 2,0 dSm⁻¹ (controle); 3,0 dSm⁻¹] e 2 doses de Dióxido de Silício (SiO₂) (Sem Si SS = 0 mM e Com Si CS = 0,4 mM), No total foram formulados 6 tratamentos, com 10 repetições cada, totalizando 60 unidades experimentais. As análises bioquímicas foram realizadas no LAPROV. 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.

Ao final do experimento, as plantas foram coletadas e retiradas todas as folhas para a mensuração das análises bioquímicas sendo elas: açúcares solúveis totais (AST), não redutores (ANR), redutores (AR), aminoácidos livres totais (AALT), prolina (PRO), proteína (PT) e íons (Na⁺, Ca²⁺ e K⁺).

Para a determinação do conteúdo de íons foi utilizado o extrato proveniente do material coletado, utilizando 0,3g de tecido fresco e foi adicionado 10mL de H₂Odd e em levado ao banho maria por 1h a 100°C, em seguida foi feito a leitura dos íons Na⁺, Ca²⁺ e K⁺ em fotômetro de chamas, modelo BFC 150. Emergiu-se o cateter do fotômetro de chamas em um béquer contendo o extrato, 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. Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com NaCl, CaSO₄, KCl, onde todos foram expressos em µmol g⁻¹ de massa fresca.

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, utilizou-se de 150 µL a 100 µL do extrato, completou-se 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% (H₂SO₄). 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. Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com glicose, onde todos foram expressos em µg g⁻¹ de massa seca.

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 no espectrofotômetro de luz visível, a 620 nm de comprimento de onda. A quantificação dos açúcares redutores foi realizada a partir da diferença entre os AST e os ANR. Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com sacarose, onde todos foram expressos em µg g⁻¹ de massa seca.

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 People et al. (1989), Yemm e Cocking (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 no espectrofotômetro de luz visível, a 570 nm de comprimento de onda. Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com glutamina, onde todos foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de massa seca.

Para a quantificação de prolina livre foi utilizado o método descrito por Bates, Waldren e Teare (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 °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 no espectrofotômetro de luz visível, a 520 nm de comprimento de onda. Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com L-prolina, onde todos foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de massa seca.

Para a mensuração de proteínas seguiu-se a metodologia de Lowry et al. (1951) modificada. A extração foi realizada através da maceração de 250 mg de massa fresca em almofariz com 3 mL de Tris Hcl. 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 et al. As amostras foram agitadas de forma manual e deixadas em repouso por 10 minutos. Em seguida, pipetou-se 400 μL do reagente Folin, sendo que, mais uma vez as amostras foram agitadas manualmente e deixadas em repouso por 30 minutos, quando então, foi realizada a leitura no espectrofotômetro de luz visível, a 750 nm de comprimento de onda. Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com albumina, onde todos foram expressos em mg g^{-1} de massa fresca.

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade das variâncias (Shapiro-Wilk, $p > 0,05$), posteriormente, à análise de variância pelo teste F (5% de probabilidade), e ao teste Tukey ($p < 0,05$) de comparação de médias, utilizando a plataforma R versão X.X.X e Rstudio[®], pacote ExpDes.pt.

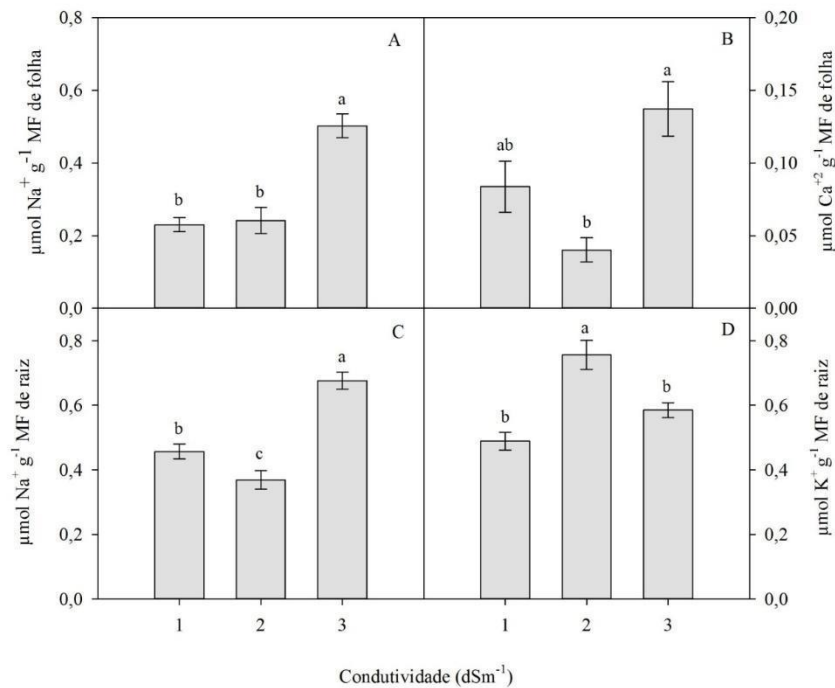
4 RESULTADOS

Para o conteúdo de íons em alfaces hidropônicas, não houve interação significativa entre os fatores estudados, havendo apenas influência da CE na parte aérea e no sistema radicular dos vegetais. Os maiores teores de Na^+ e Ca^{2+} em folha das alfaces hidropônicas pesquisadas, foram encontrados com a maior concentração de sais (3 dSm^{-1}) (Figura 1A e B). Para os teores de Na^+ em folhas de alface hidropônica, não houve diferença significativa entre as CE de 1 dSm^{-1} e 2 dSm^{-1} , mas para 3 dSm^{-1} houve um acréscimo significativo de 42%. Resultado semelhante foi observado quanto ao conteúdo de Ca^{2+} , não ocorrendo diferença significativa entre a CE de 1 dSm^{-1} e 2 dSm^{-1} e incremento de 88% na CE de 3 dSm^{-1} (Figura 1 A e B).

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%. 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 1 B).

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 1 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 1 D).

Figura 1 - Teores de Na^+ em folhas (A) e raízes (C), de Ca^{2+} em folhas (B) e de K^+ em raízes (D), de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico sob diferentes condutividade elétrica da solução nutritiva. Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras representam o erro padrão da média ($n = 10$).

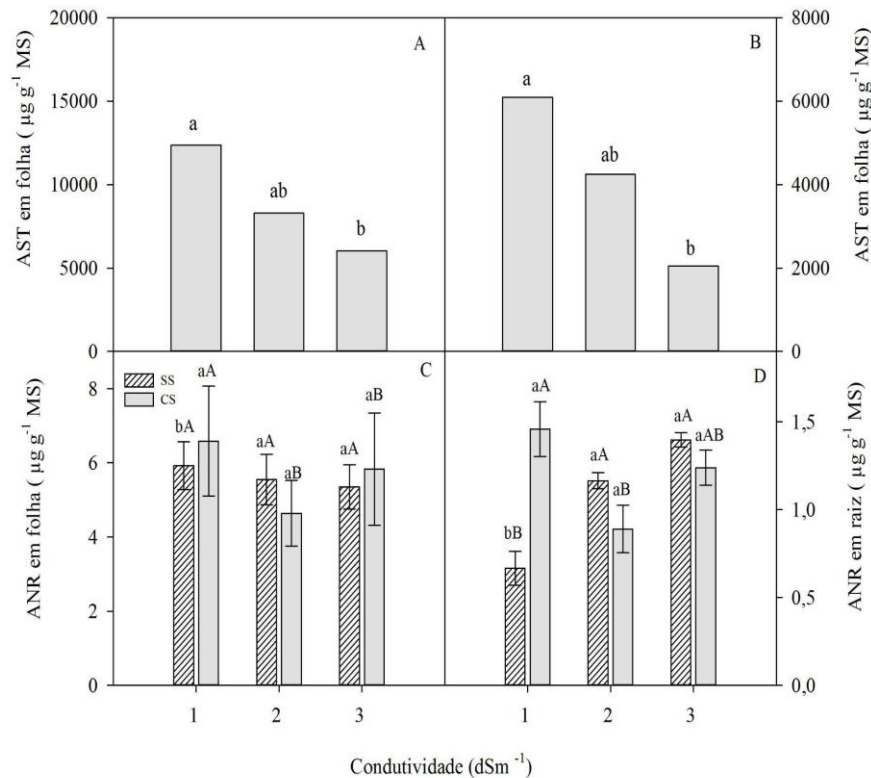


Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

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 Ca²⁺, permanecendo este com uma média de 0,079 μmol 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 μmol g⁻¹ (Figura 1C). Em relação ao conteúdo de K⁺ nas raízes de alface hidropônicas a CE de 2 dSm⁻¹ diferiu-se significativamente das demais, com média de 0,791 μmol 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 1D).

Em relação ao conteúdo de osmoprotetores, para AST e ART em folhas não houve interação entre os fatores CE e a suplementação a base de Si (Figura 2A e B). No entanto, foi possível observar diferença significativa entre as CEs, onde a de 1 dSm⁻¹ apresentou os maiores teores, com médias de 10,915 μg g⁻¹ em AST e 4,161 μg 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.

Figura 2 - 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. As barras representam o erro padrão da média (n = 10).



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

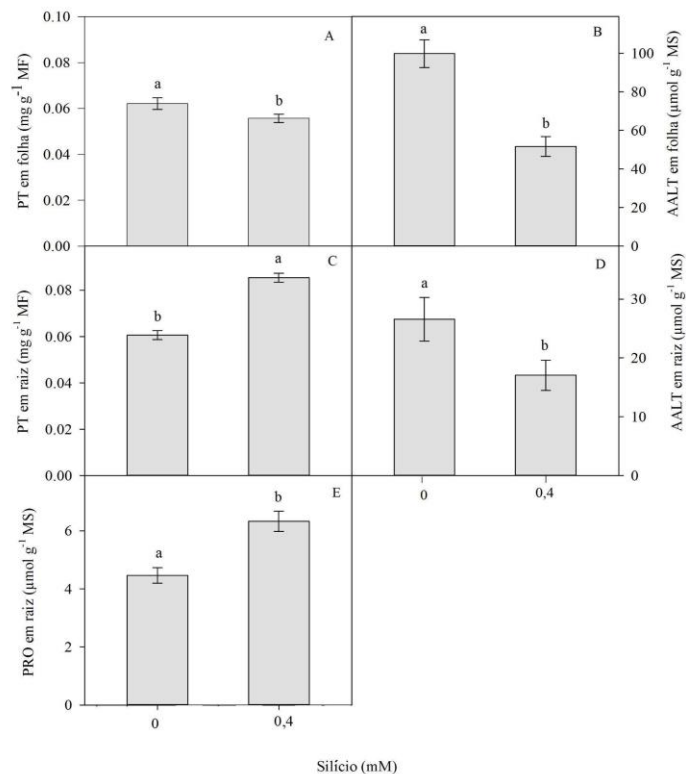
Quanto à concentração de ANR em folhas notou-se interação entre os fatores CE e Si, onde os teores de sacarose reduziram em 63% da CE de 1 dSm⁻¹ para a de 2 dSm⁻¹, mas aumentando novamente na CE de 3 dSm⁻¹ em 69% com a adição de Si. Entretanto, plantas que não foram suplementadas com Si não apresentaram 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 μg g⁻¹) diferindo significativamente das demais (Figura 2C).

Avaliando os açúcares no sistema radicular em plantas de alfaces hidropônicas foi possível concluir que para AST e ART não houve diferença significativa entre os tratamentos, havendo interação significativa apenas em ANR (Figura 2D). 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 CE 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 μg 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 μg g⁻¹) (Figura 2D).

Em relação a PT e AALT não houve interação significativa entre os fatores CE e Si,

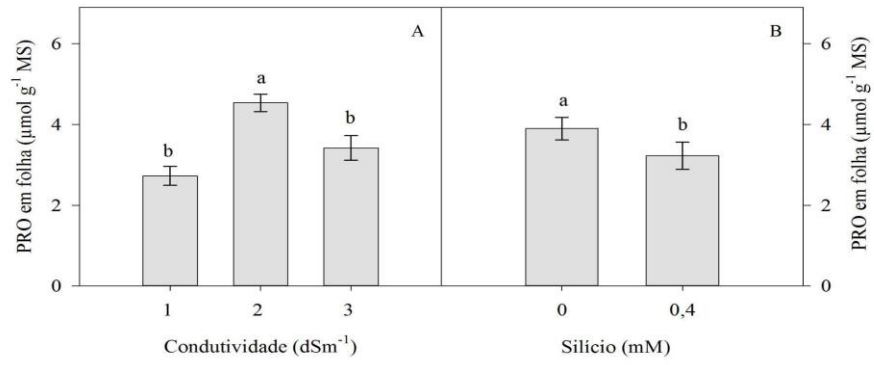
havendo apenas resposta quanto a adição de Si à solução nutritiva durante o cultivo hidropônico no sistema NFT (Figura 3A e B). Em PRO as diferentes CE e a adição de Si em folha, não interagiram entre si (Figura 4A e B), mas causaram respostas de forma isolada. Os níveis de PT, AALT e PRO em folhas reduziram significativamente em detrimento da disponibilização de Si na solução nutritiva, denotando um decréscimo de 43% em PT, 84% em AALT (Figura 3A e B) e 80% em PRO (Figura 4B). 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 CE de 1 dSm⁻¹ (Figura 4A). 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 3C, D e E).

Figura 3 - 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. As barras representam o erro padrão da média (n = 10).



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Figura 4 - 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. As barras representam o erro padrão da média (n = 10).



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

5 DISCUSSÃO

Quanto a absorção de íons das folhas de plantas de alface hidropônica o aumento da CE exerceu um maior efeito para a alface (Figura 1), já que para amenizar os efeitos e sobreviver em solo salino, as plantas utilizam diferentes estratégias, dentre elas a principal é a compartimentalização de íons no vacúolo, além de reduzir o transporte de Na^+ das raízes para a parte aérea (LEMOS NETO, 2019), o que pode ter refletido nos resultados do presente trabalho, já que embora tenha ocorrido acúmulo desse íon na parte aérea (Figura 1A), ainda assim, a concentração nas raízes se apresentou mais elevada (Figura 1C). Segundo Santos (2017), ao avaliar plantas de manjeriço submetidas ao 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. 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, França e Lima (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; 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 significativamente da 3 dSm^{-1} , a qual obteve os maiores valores para Ca^{2+} , ou ainda a possibilidade de se utilizar uma maior CE, refletindo na qualidade da água.

Já para a concentração de sais em raízes das alfaces hidropônicas (Figura 1), os resultados do presente trabalho se assemelham aos obtidos por Silva Júnior et al. (2017) em estudo com melancia submetida ao 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).

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; 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 2A e 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.

Em relação às raízes, Buchelt (2019) obteve o mesmo resultado para ANR em plantas forrageiras, onde o autor relatou que o aumento da sacarose promovido pelo Si é importante para o crescimento de raízes sob estresse.

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; 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 3 (A e B) e 4 (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) encontraram redução em PT quando da aplicação de 0,5 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 et al. (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 et al., 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). Em relação ao efeito redutor do Si sobre os teores de PRO na parte aérea (Figura 4B), os resultados se assemelham a Santos 2010, quando a autora observou em seu estudo a mesma resposta 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., 2010a).

Quanto à resposta ao aumento nos níveis de CE (Figura 4A), 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. 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).

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 3C, 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) observaram 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; ZHU; SHI, 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 se comportado como indicador de estresse, mas não aumentou a tolerância ao mesmo (HANNACHI; VAN LABEKE, 2018).

6 CONCLUSÕES

A adição de Si à solução nutritiva influenciou as respostas osmoprotetoras das plantas de alface hidropônicas.

Com relação aos íons, observou-se o maior acúmulo de Na^+ na parte radicular das plantas como forma de adaptação ao estresse salino.

O contato direto das raízes com o silício possibilitou respostas positivas das mesmas ao estresse salino, demonstrando que em condições de salinidade esse elemento é indicado para o cultivo de alface em hidroponia.

REFERÊNCIAS

- 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, jan. 2011.
- 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, fev. 2004.
- 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.
- ANDRADE, R. R. de. **Efeito da concentração da solução nutritiva em cultivares de alface em sistema hidropônico tipo NFT, em clima Semiárido**. 2019. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- ARAÚJO, E. D. de. **Silício como atenuador do estresse hídrico em feijão-caupí por meio do mecanismo antioxidante e desempenho agrônômico**. 2017. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)-Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.
- 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, jan. 2015.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, ago. 1973.
- BEZERRA NETO, E. Hidroponia. In: _____ **Cadernos do Semiárido: Riquezas e oportunidades**. Recife: EDUFRPE, 2017.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 8 e 9, p. 107-137, 2012.
- 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**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1228-1234, 2014.
- BUCHELT, A. C. **Silício na mitigação de deficiência nutricional e formas de aplicação via fertirrigação e foliar em plantas forrageiras**. 2019. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.
- 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, out./nov. 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. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 215–219, abr./jun. 2014.

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

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**, Santa Maria, v. 49, n. 6, p. 1-7, 2019.

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**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 685-696, out./dez. 2016.

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

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. de S.; COSTA, T. C.; GOMES-FILHO, E. Silicon modulates the activity of antioxidant enzymes and nitrogen compounds in sunflower plants under salt stress. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Philadelphia, v. 65, n. 9, p. 1237-1247, 2019.

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

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

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

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, mar. 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**, Pelotas, v. 13, n. 3, p. 17-29, 2016.

FACTOR, L. T.; ZAMBROSI, F. C. B.; FURLANI, P. R. Instruções básicas para o cultivo de hortaliças folhosas em hidroponia. In: _____ **Manual Técnico de Orientação**. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 2014.

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**, Fortaleza, v. 12, n. 3, p. 2570-2578, 2018.

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

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.

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**, Santa Maria, v. 45, n. 11, p. 1932-1938, 2015.

GUIMARÃES, 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**, Venezuela, v. 38, n. 38, p. 25-32, 2017a.

GUIMARÃES, 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**, Fortaleza, v. 11, n. 8, p. 2141 - 2151, 2017b.

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.

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.

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

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

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, maio, 2017.

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

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

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

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**, San Francisco, v. 14, n. 1, p. 71-77, jan. 2020.

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 Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 398-403, abr./jun. 2011.

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**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 297-305, abr./jun. 2018.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I. M. M. (org.). **Water Stress**, Rijeka: INTECH, p. 1-14. 2012.

LORENZI, C. O. Alface. In_____ **Boletim MarkEsalq**, ano 3, n. 10, 2015.

LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, v. 193, n. 1, p. 265-275, nov. 1951.

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 [...]**

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, out. 2004.

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. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 22-30, jan./mar. 2017.

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops-what is the cost? **New Phytologist**, v. 208, p. 668-673, 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, 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**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 2330-2337, 2020.

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**, Campina Grande, 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.

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 [...]**

PEOPLE, M. B.; FAIZAH, A. W.; RERKASEM, B. G.; HERRIDGE, D. F. Methods for 114 evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. **Camberra**: Australian. Center for International Agricultural Research, 1989.

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

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, out. 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 ornithine amino transferase pathway contributes to proline accumulation under high N recycling in salt-stressed cashew leaves. **Journal Plant Physiology**, v. 169, p. 41- 49, jan. 2012.

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**, Patos, v. 14, n. 2, p. 141-148, abr./jun. 2018.

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**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 111-118, jan./mar. 2010a.

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**, Rio Claro, v. 33, p. 34-44, 2010b.

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

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

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**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 8, p. 1-14, 2020.

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**, São Luís, v. 14, n. 1, p. 67-78, 2019.

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

SILVA JÚNIOR, Eugênio Gonçalves da et al. Desenvolvimento vegetativo e conteúdo de cálcio, potássio e sódio em melancia sob estresse salino, em substratos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 12, p. 1149-1157, 2017.

SILVA, M. L. de S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações Agronômicas**. 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. L. dos S. **Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas jovens de arroz**

- tratadas com silício submetidas ao estresse salino.** 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- SILVA, L. A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. Physiological mechanisms in citrus hybrids under saline stress in hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, (Suplemento), p. 1-7, 2014.
- 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. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 4, p. 1069-1076, out./dez. 2019.
- 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**, Sete Lagoas, v. 13, n. 2, p. 117-128, 2014.
- 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.
- 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.
- SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, v. 15, p. 89-97, fev. 2010.
- TAIZ, L.; ZAIGER, E.; MOLLER, I. ; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artemed, 2017.
- 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**, Jaboticabal, v. 48, n. 2, p. 170-187, 2020.
- TROLL, W.; LINDSLEY, J. A photometric method for the determination of proline. **Journal of Biological Chemistry**, v. 215, n. 2, p. 655-660, ago. 1955.
- YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-213. 1955.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sua infinita bondade, por ter me proporcionado vencer mais essa etapa da minha vida.

Aos meus pais, João Neto e Reginalda que sempre me deram apoio, força e muito amor.

À toda minha família que fizeram de tudo para tornar os momentos difíceis um pouco mais brandos, também pelo cuidado e carinho. Em especial aos meus irmãos e sobrinhos.

Ao meu marido Andson Sales por todo incentivo e por acreditar em mim até mesmo quando nem eu mesmo acreditava, por compreender toda minha ansiedade e cuidar tão bem de mim.

Aos meus amigos, por toda força, apoio e incentivo.

A UEPB e a todos os professores dessa instituição de ensino que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente a Josemir Moura Maia, responsável pela minha orientação, e também a meu coorientador Anselmo Ferreira da Silva por todos os ensinamentos repassados.

Ao grupo de pesquisa do LAPROV por ter sido meu centro de apoio por tantos anos, agradeço por cada pequena descoberta, pois sei que fará muita diferença no meu crescimento pessoal e profissional.

Ao CNPq pela concessão da bolsa durante o projeto.

A banca avaliadora por aceitar o convite e pelas contribuições feitas ao meu trabalho.

Agradeço imensamente a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para que eu conseguisse chegar até aqui. Muito Obrigada!