



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS I - CAMPINA GRANDE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**AMANDA FERREIRA DA SILVA**

**INTERAÇÃO DA SALINIDADE COM DOSES DE  $\text{Ca}^{2+}$  E  $\text{K}^{+}$  PARA  
ADAPTAÇÕES NO CULTIVO DE ALFACE HIDROPÔNICA EM  
SISTEMA DFT NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**CAMPINA GRANDE – PB**  
**NOVEMBRO DE 2022**

**AMANDA FERREIRA DA SILVA**

**INTERAÇÃO DA SALINIDADE COM DOSES DE  $\text{Ca}^{2+}$  E  $\text{K}^+$  PARA  
ADAPTAÇÕES NO CULTIVO DE ALFACE HIDROPÔNICA EM  
SISTEMA DFT NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

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**

**Coorientador: Prof. Dr. Yuri Lima Melo**

**CAMPINA GRANDE – PB  
NOVEMBRO DE 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.

S586i Silva, Amanda Ferreira da.  
Interação da salinidade com doses de Ca<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> para adaptações no cultivo de alface hidropônica em sistema DFT no semiárido brasileiro [manuscrito] / Amanda Ferreira da Silva. - 2022.  
79 p. : il. colorido.

Digitado.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2023.  
"Orientação : Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA. "  
"Coorientação: Prof. Dr. Yuri Lima Melo , UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte"

1. Nutrição mineral Nitrato de cálcio Hidroponia. 2. Nutrição mineral . 3. Nitrato de cálcio . 4. Hidroponia. I. Título  
21. ed. CDD 581

**AMANDA FERREIRA DA SILVA**

**INTERAÇÃO DA SALINIDADE COM DOSES DE  $\text{Ca}^{2+}$  E  $\text{K}^+$  PARA  
ADAPTAÇÕES NO CULTIVO DE ALFACE HIDROPÔNICA EM  
SISTEMA DFT NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

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.

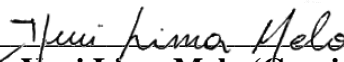
**Aprovada em 22 de Novembro de 2022**

**BANCA EXAMINADORA:**



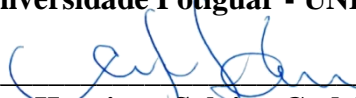
---

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



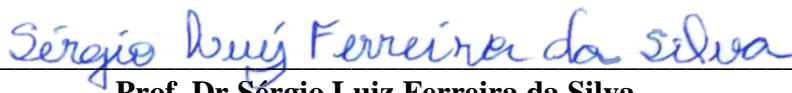
---

**Prof. Dr. Yuri Lima Melo (Coorientador)**  
Universidade Potiguar - UNP



---

**Prof. Dr. Carlos Henrique Salvino Gadelha Meneses**  
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB



---

**Prof. Dr. Sérgio Luiz Ferreira da Silva**  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRP/UAST

***CELEBRAREI*** com júbilo ao ***SENHOR***, todas as terras, 2  
Servi ao ***SENHOR*** com alegria, e entrai diante dele como  
canto. 3 Sabei que o ***SENHOR*** é ***DEUS***; foi ele que nos fez, e  
não nós a nós mesmos; somos povo seu e ovelhas do seu pasto.  
4 Entrai pelas portas dele com ***GRATIDÃO***, e em átrios com  
louvor. Louvai-o, e bendizei o seu nome 5 Porque o ***SENHOR***  
é bom, e eterna a sua misericórdia; e a sua verdade dura de  
geração em geração.

**SALMO 100**

## **AGRADECIMENTOS**

Á DEUS, pois sem ele eu não teria conseguido.

Á minha família pelo apoio, amor, e ajuda em todos os momentos da minha vida, em especial a minha irmã Maria Alícia por sempre estar comigo.

Ao professor Dr. Josemir Moura Maia pela orientação e por acreditar em mim e no meu potencial.

Ao professor Dr. Yuri Lima Melo pela coorientação e confiança no meu trabalho.

Á Hidrotech pela parceria na pesquisa, em especial ao Dr. Anselmo Ferreira pela amizade e por estar à disposição.

Ao LAPROV pelo aprendizado, pelo conhecimento adquirido e a equipe pela ajuda durante a pesquisa.

Á minha turma de metrado 2020.1 pelo companheirismo e apoio.

Aos doutores Francisco Hélio e Jucelino de Sousa pelo conhecimento passado.

Aos amigos que me ajudaram ao longo da pesquisa, Mikaelly, Joelma e Suelho.

Á pessoa do diretor/professor Edivan Junior Nunes por sempre estar à disposição para resolver qualquer coisa a qualquer hora.

Á TODOS os servidores e terceirizados da UEPB campus IV, pelo apoio e ajuda durante a pesquisa.

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

## RESUMO

FERREIRA DA SILVA, AMANDA. M.Sc., Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, Novembro 2022. Interação da salinidade com doses de cálcio para mitigação dos efeitos salinos em *Lactuca sativa* L. sob cultivo hidropônico. Orientador: Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Coorientador: Prof Dr Yuri Lima Melo.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça amplamente difundida no país, suas propriedades nutricionais e seu baixo preço de mercado tornaram essa folhosa bastante procurada. O cultivo convencional de hortaliças exige manejos limitam o seu cultivo em algumas regiões do país, tais como altas temperaturas e águas com altos teores de sais (NaCl principalmente). Uma forma de cultivo que vem crescendo e sendo bastante estudada é a hidroponia, essa técnica que consiste na utilização de soluções nutritivas para suprir as demandas nutricionais do solo, traz consigo um amplo campo de estudos sobre salinidade e nutrição de plantas. Este trabalho teve como objetivo estudar a interação da salinidade com diferentes doses de cálcio na solução nutritiva afim de mitigar os efeitos dos sais no cultivo de alface hidropônica. O trabalho foi realizado em viveiro com dimensões 12mx30m no Setor Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e no Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV), localizado no município de Catolé do Rocha (PB). O delineamento experimental utilizado foi DIC, com fatorial 4x5, com quatro doses condutividades elétricas (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5dS/m) de cálcio na forma de nitrato de cálcio (60g; 67,5; 75g; 82,5g e 90g/100L) e com seis repetições. Foram utilizadas águas salinas simuladas para representar as águas de poços da região. As variáveis estudadas foram altura das plantas (ALT), massa fresca total (MFT), massa fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das folhas (MSF), massa seca das raízes (MSR), número de folhas totais (NFT), número de folhas comerciais (NFC), área foliar (AF), diâmetro da cabeça (DC), circunferência da cabeça (CC), comprimento das raízes (CR), volume das raízes (VR), conteúdo relativo de água (CRA), umidade (%UM) e danos de membrana (DM). Constatou-se que a redução de 20% de cálcio (60g/100L) na solução nutritiva proporcionou plantas com maiores médias morfológicas; e que o cálcio proporcionou atenuação dos efeitos da salinidade na alface.

**Palavras-chave:** nutrição mineral; nitrato de cálcio; hidroponia.

## ABSTRAT

FERREIRA DA SILVA, AMANDA. M.Sc., Paraíba State University / Embrapa Cotton, November 2022. Interaction of salinity with calcium doses to mitigate saline effects in *Lactuca sativa* L. under hydroponic culture. Advisor: Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Co-supervisor: Prof Dr Yuri Lima Melo.

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a vegetable widely spread in the country, its nutritional properties and its low market price have made this leafy vegetable much sought after. The conventional cultivation of vegetables requires management that limits its cultivation in some regions of the country, such as high temperatures and water with high levels of salts (NaCl mainly). A form of cultivation that has been growing and being widely studied is hydroponics, this technique that consists of the use of nutrient solutions to meet the nutritional demands of the soil, brings with it a wide field of studies on salinity and plant nutrition. This work aimed to study the interaction of salinity with different doses of calcium in the nutrient solution in order to mitigate the effects of salts in the cultivation of hydroponic lettuce. The work was carried out in a nursery with dimensions of 12mx30m in the Experimental Sector of the State University of Paraíba (UEPB) and in the Laboratory of Plant Production Technologies (LAPROV), located in the municipality of Catolé do Rocha (PB). The experimental design used was DIC, with a 4x5 factorial, with four electrical conductivity doses (1.5; 2.5; 3.5 and 4.5dS/m) of calcium in the form of calcium nitrate (60g; 67.5; 75g; 82.5g and 90g/100L) and with six repetitions. Simulated saline waters were used to represent the water from wells in the region. The variables studied were plant height (ALT), total fresh mass (MFT), leaf fresh mass (MFF), root fresh mass (MFR), leaf dry mass (MSF), root dry mass (MSR), number of total leaves (NFT), number of commercial leaves (NFC), leaf area (AF), head diameter (DC), head circumference (CC), root length (CR), root volume (VR), relative water content (CRA), moisture (%UM) and membrane damage (DM). It was found that the reduction of 20% of calcium (60g/100L) in the nutrient solution provided plants with higher morphological averages; and that calcium provided attenuation of salinity effects on lettuce.

**Keywords:** mineral nutrition; calcium nitrate; hydroponics.



## RESUMO

FERREIRA DA SILVA, AMANDA. M.Sc., Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, Novembro 2022. Interação da salinidade com doses de potássio para mitigação dos efeitos de salinos em *Lactuca sativa* L. sob cultivo hidropônico. Orientador: Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Coorientador: Prof Dr Yuri Lima Melo.

A salinidade é um fator importante na agricultura, uma vez que, é um limitador para o crescimento de algumas plantas cultivadas, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas a fim de encontrar meios para mitigar os efeitos dos sais nas plantas. A nutrição de plantas é um campo da agronomia que usa nutrientes suprir a necessidade da planta como também equilíbrio nas proporções dos mesmos. O potássio é o segundo elemento mais requerido pela alface, além de ter funções de osmorregulação dentro das células na presença de sais. O trabalho teve como objetivo estudar a interação da salinidade com diferentes doses de potássio na solução nutritiva a fim de mitigar os efeitos dos sais no cultivo de alface hidropônica. O trabalho foi realizado em viveiro com dimensões 12mx30m no Setor Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e no Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV), localizado no município de Catolé do Rocha (PB). O delineamento experimental utilizado foi DIC, com fatorial 4x5, com quatro doses condutividades elétricas (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5dS/m) de potássio na forma de nitrato de potássio (40g; 45; 50g; 55g e 60g/100L) e com seis repetições. Foram utilizadas águas salinas simuladas para representar as águas de poços da região. As variáveis estudadas foram altura das plantas (ALT), massa fresca total (MFT), massa fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das folhas (MSF), massa seca das raízes (MSR), número de folhas totais (NFT), número de folhas comerciais (NFC), área foliar (AF), diâmetro da cabeça (DC), circunferência da cabeça (CC), comprimento das raízes (CR), volume das raízes (VR), conteúdo relativo de água (CRA), umidade (%UM) e danos de membrana (DM). Foi possível constatar que a redução de 20% de potássio na solução nutritiva proporcionou plantas com maiores médias morfológicas e que o potássio teve função de regulador osmótico nas plantas atenuando os efeitos dos sais nas plantas até a faixa de 2,5 dS/m.

**Palavras-chave:** nutrição de plantas, nitrato de potássio, hidroponia.

## ABSTRACT

FERREIRA DA SILVA, AMANDA. M.Sc., Paraíba State University / Embrapa Cotton, November 2022. Interaction of salinity with potassium doses to mitigate saline effects on *Lactuca sativa* L. under hydroponic culture. Advisor: Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Co-supervisor: Prof Dr Yuri Lima Melo.

Salinity is an important factor in agriculture, since it is a limiting factor for the growth of some cultivated plants, many researches have been developed in order to find ways to mitigate the effects of salts on plants. Plant nutrition is a field of agronomy that uses nutrients to meet the needs of the plant as well as balance in their proportions. Potassium is the second most required element by lettuce, in addition to having osmoregulatory functions within cells in the presence of salts. The objective of this work was to study the interaction of salinity with different doses of potassium in the nutrient solution in order to mitigate the effects of salts in the cultivation of hydroponic lettuce. The work was carried out in a nursery with dimensions of 12mx30m in the Experimental Sector of the State University of Paraíba (UEPB) and in the Laboratory of Plant Production Technologies (LAPROV), located in the municipality of Catolé do Rocha (PB). The experimental design used was DIC, with a 4x5 factorial, with four electrical conductivity doses (1.5; 2.5; 3.5 and 4.5dS/m) of calcium in the form of calcium nitrate (40g; 45; 50g; 55g and 60g/100L) and with six repetitions. Simulated saline waters were used to represent the water from wells in the region. The variables studied were plant height (ALT), total fresh mass (MFT), leaf fresh mass (MFF), root fresh mass (MFR), leaf dry mass (MSF), root dry mass (MSR), number of total leaves (NFT), number of commercial leaves (NFC), leaf area (AF), head diameter (DC), head circumference (CC), root length (CR), root volume (VR), relative water content (CRA), moisture (%UM) and membrane damage (DM). It was possible to verify that the 20% reduction of potassium in the nutrient solution provided plants with higher morphological averages and that potassium had an osmotic regulator function in the plants, attenuating the effects of salts in the plants up to the range of 2.5 dS/m.

**Keywords:** plant nutrition, potassium nitrate, hydroponics.

## RESUMO

FERREIRA DA SILVA, AMANDA. M.Sc., Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, Novembro 2022. Balanço nutricional na solução nutritiva em cultivo hidropônico submetidas a condições salinas. Orientador: Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Coorientador: Prof Dr Yuri Lima Melo.

O uso de águas salobras na agricultura vem sendo uma prática cada vez mais comum na região semiárida. Manejos mais eficientes são utilizados para minimizar os efeitos dos sais nas plantas. O uso de plantas melhoradas geneticamente, uso de desalinizadores, entre outras práticas são formas de adaptar determinados cultivos nessa região. Outra prática importante é a nutrição de plantas que otimiza cultivos com o equilíbrio iônico entre os nutrientes, atrelada a isso está a hidroponia, na qual utiliza a nutrição de plantas para cultivar com menor tempo, e com mais eficiência. O objetivo desse trabalho foi estudar a interação da salinidade com diferentes doses de cálcio e doses de potássio na solução nutritiva afim de mitigar os efeitos dos sais no cultivo de alface hidropônica. O trabalho foi realizado em viveiro com dimensões 12mx30m no Setor Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e no Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV), localizado no município de Catolé do Rocha (PB). O delineamento experimental utilizado foi DIC, com fatorial 4x2x2, com quatro doses condutividades elétricas (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5dS/m) duas de potássio na forma de nitrato de potássio (40g; 50g/100L) e duas doses de cálcio na forma de nitrato de cálcio (60g; 75g/100L) com seis repetições. Foram utilizadas águas salinas simuladas para representar as águas de poços da região. As variáveis estudadas foram altura das plantas (ALT), massa fresca total (MFT), massa fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das folhas (MSF), massa seca das raízes (MSR), número de folhas totais (NFT), número de folhas comerciais (NFC), área foliar (AF), diâmetro da cabeça (DC), circunferência da cabeça (CC), comprimento das raízes (CR), volume das raízes (VR), conteúdo relativo de água (CRA), umidade (%UM) e danos de membrana (DM). Foi possível constatar que a redução de 20% de nitrato de cálcio e 20% de nitrato de potássio proporcionaram as maiores plantas; e que interação de  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{K}^+$  necessita ser mais estudada, para entender de forma mais detalhada sobre o equilíbrio químico desses nutrientes na planta.

**Palavras-chave:** nutrição mineral, interação, equilíbrio iônico.

## ABSTRACT

FERREIRA DA SILVA, AMANDA. M.Sc., Paraíba State University / Embrapa Cotton, Novembro 2022. Nutritional balance in the nutritional solution in hydroponic culture submitted to saline conditions. Advisor: Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Co-supervisor: Prof Dr Yuri Lima Melo.

The use of brackish water in agriculture has been an increasingly common practice in the semi-arid region. More efficient management is used to minimize the effects of salts on plants. The use of genetically improved plants, use of desalination plants, among other practices, are ways to adapt certain crops in this region. Another important practice is plant nutrition that optimizes crops with the ionic balance between nutrients, linked to this is hydroponics, in which it uses plant nutrition to cultivate in less time and more efficiently. The objective of this work was to study the interaction of salinity with different doses of calcium and doses of potassium in the nutrient solution in order to mitigate the effects of salts in hydroponic lettuce cultivation. The work was carried out in a nursery with dimensions of 12mx30m in the Experimental Sector of the State University of Paraíba (UEPB) and in the Laboratory of Plant Production Technologies (LAPROV), located in the municipality of Catolé do Rocha (PB). The experimental design used was DIC, with a 4x2x2 factorial, with four doses of electrical conductivities (1.5; 2.5; 3.5 and 4.5dS/m) two of potassium in the form of potassium nitrate (40g; 50g/100L ) and two doses of calcium in the form of calcium nitrate (60g; 75g/100L) with six replications. Simulated saline waters were used to represent the water from wells in the region. The variables studied were plant height (ALT), total fresh mass (MFT), leaf fresh mass (MFF), root fresh mass (MFR), leaf dry mass (MSF), root dry mass (MSR), number of total leaves (NFT), number of commercial leaves (NFC), leaf area (AF), head diameter (DC), head circumference (CC), root length (CR), root volume (VR), relative water content (CRA), moisture (%UM) and membrane damage (DM). It was possible to verify that the reduction of 20% of calcium nitrate and 20% of potassium nitrate provided the largest plants; and that interaction of  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{K}^+$  needs to be further studied, to understand in more detail the chemical balance of these nutrients in the plant.

**Keywords:** mineral nutrition, interaction, ionic balance.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fontes e doses da solução nutritiva de Furlani. ....	26
Tabela 2. Valores das condutividades elétricas e das doses de Cálcio do experimento I.	27
Tabela 3. Condutividade elétricas (CEs) das águas salinas simuladas e da solução controle. ....	28
Tabela 4. Equações e R <sup>2</sup> dos gráficos .....	35
Tabela 5. Análise de variância das variáveis conteúdo relativo de água (CRA), umidade (UM%) e danos de membrana (DM). ....	37
Tabela 6. Fontes e doses da solução nutritiva de Furlani. ....	44
Tabela 7. Valores das condutividades elétricas e das doses de potássio do experimento II. ....	44
Tabela 8. Condutividades elétricas (CE) das águas salinas simuladas e da solução nutritiva controle. ....	46
Tabela 9. Análise de variância para massa fresca das raízes (MFR). ....	51
Tabela 10. Equações e R <sup>2</sup> dos gráficos .....	53
Tabela 11. Tabela de análise de variância com as médias do comprimento das raízes (CR) e volume das raízes (VR). ....	54
Tabela 12. Análise de variância para as variáveis conteúdo relativo de água (CRA), umidade (UM%) e danos de membrana (DM). ....	56
Tabela 13. Fontes e doses da solução nutritiva de Furlani .....	62
Tabela 14. Valores das condutividades elétricas e das doses de Cálcio + Potássio do experimento III .....	63
Tabela 15. Condutividades elétricas (CE) das águas salinas simuladas e da solução controle .....	64
Tabela 16. Equações e R <sup>2</sup> dos gráficos .....	71
Tabela 17. Análise de variância para as variáveis conteúdo relativo de água (CRA), umidade (UM%) e danos de membrana (DM). ....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados de acompanhamento de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da estufa no 1° ciclo, no período de 23/09/2021 a 23/10/2021.....	25
Figura 2. Análises morfológicas da alface.....	29
Figura 3. Gráficos de superfície resposta para as variáveis MFT e ALT. ....	32
Figura 4. Gráficos de superfície resposta para as variáveis massa fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das folhas (MSF) e massa seca das raízes (MSR). ....	33
Figura 5. Gráfico de superfície resposta para a variável Circunferência da cabeça (CC) em interação com os fatores Cálcio x CE , e gráfico de barras para a variável Diâmetro da cabeça (DC) em relação a condutividade elétrica das soluções nutritivas. (Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade) .....	34
Figura 6. Gráfico de superfície resposta para as variáveis Número de folhas totais (NFT), área foliar (AF); gráfico de barras para a variável número de folhas comerciais (NFC) em relação a condutividade elétrica. (Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade).....	34
Figura 7. Gráfico de superfície resposta para a variável comprimento das raízes (CR), gráfico de barras para a variável volume das raízes (VR). ....	35
Figura 8. Concentração de cálcio, potássio e sódio nas folhas em relação à concentração de nitrato de cálcio nas soluções nutritivas S1, S2, S3 e S4.....	36
Figura 9. Alfaces hidropônicos cultivados sob condutividade elétrica 1,5dS/m x doses de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .....	38
Figura 10. Alfaces hidropônicos cultivados sob condutividade elétrica 2,5dS/m x doses de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .....	38
Figura 11. Alfaces hidropônicos cultivados sob condutividade elétrica 3,5dS/m x doses de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .....	38
Figura 12. Alfaces hidropônicos cultivados sob condutividade elétrica 4,5dS/m x doses de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .....	39
Figura 13. Dados de acompanhamento da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da estufa no 3° ciclo, no período de 18/03/2022 a 18/04/2022.....	43
Figura 14. Gráficos de superfície de resposta para massa fresca total (MFT) e altura das plantas (ALT). ....	50
Figura 15. Gráficos de superfície respostas para as variáveis, massa fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das raízes (MSR), e gráfico de barras para a variável massa fresca das raízes (MFR). ....	51
Figura 16. Gráficos de superfície resposta para as variáveis número total de folhas (NTF), número de folhas comerciais (NFC), área foliar (AF) e diâmetro da cabeça (DC).....	52
Figura 17. Gráficos de superfície resposta para as variáveis número total de folhas (NTF), número de folhas comerciais (NFC), área foliar (AF) e diâmetro da cabeça (DC).....	52

Figura 18. Comprimento das raízes (CR), volume das raízes (VR) em relação as condutividades elétricas. (Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade).....	54
Figura 19. Gráficos de barras da relação da concentração de cálcio, potássio e sódio nas folhas com a concentração de nitrato de potássio nas soluções nutritivas S1, S2, S3 e S4. ....	55
Figura 20. Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica de 1,5dS/m x doses de $KNO_3$ .....	57
Figura 21. Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica de 2,5dS/m x doses de $KNO_3$ .....	57
Figura 22. Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica de 3,5dS/m x doses de $KNO_3$ .....	57
Figura 23. Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 4,5dS/m x doses de $KNO_3$ .....	57
Figura 24. Dados de acompanhamento de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da estufa no 5º ciclo, no período de 11/05/2022 a 11/06/2022.....	61
Figura 25. Gráfico de superfície resposta para as variáveis Massa fresca total (MFT) e altura das plantas (ALT). .....	68
Figura 26. Gráficos de superfície resposta para as variáveis massa fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das raízes (MSR) e massa secas das folhas (MSF). .....	69
Figura 27. Gráficos de superfície resposta para as variáveis número de folhas totais (NFT), número de folhas comerciais (NFC) e área foliar (AF).....	70
Figura 28. Gráfico de superfície resposta para as variáveis comprimento das raízes (CR) e diâmetro da cabeça (DC). .....	71
Figura 29. Gráfico de barras da relação da concentração de cálcio, potássio e sódio nas folhas com a concentração de nitrato de cálcio e nitrato de potássio nas soluções Nutritivas S1, S2, S3 e S4.....	72
Figura 30. Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 1,5dS/m x doses de $Ca(KNO_3)_2 + KNO_3$ .....	74
Figura 31. Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 2,5dS/m x doses de $Ca(NO_3)_2 + KNO_3$ .....	74
Figura 32. Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 3,5dS/m x doses de $Ca(NO_3)_2 + KNO_3$ .....	74
Figura 33. Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 4,5dS/m x doses de $Ca(NO_3)_2 + KNO_3$ .....	75

## SUMÁRIO

1. CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO – INFORMAÇÕES GERAIS.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 Aspectos botânicos e econômicos da cultura .....	19
2.2 Cultivo hidropônico em sistema DFT .....	20
3. HIPÓTESES .....	21
4. OBJETIVO GERAL.....	22
5. CAPÍTULO II - INTRODUÇÃO - INTERAÇÃO DA SALINIDADE COM DOSES DE CÁLCIO PARA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS SALINOS EM <i>Lactuca sativa</i> L. SOB CULTIVO HIDROPÔNICO. ....	23
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
6.1 Descrição do experimento .....	25
6.2 Caracterização do local da pesquisa .....	25
6.3 Delineamentos experimentais.....	26
6.4 Formulações das soluções nutritivas para o cultivo da alface .....	26
6.5 Preparo das soluções nutritivas.....	27
6.5.1 Preparo das águas salinas simuladas .....	27
6.6 Indicadores de crescimento .....	28
6.7 Variáveis relacionadas ao estresse salino .....	29
6.7.1 Danos de membrana (DM) .....	29
6.7.2 Conteúdo relativo de água (CRA) .....	29
6.7.3 Teor de umidade (%UM).....	30
6.8 Determinações dos solutos inorgânicos.....	30
6.8.1 Relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{K}^+$ .....	30
6.9 Análises estatísticas .....	31
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
7.1 Indicadores de crescimento .....	32
7.2 Indicadores nutricionais.....	36
7.3 Indicadores de estresse .....	37
8. CONCLUSÃO.....	40
9. CAPÍTULO III – INTRODUÇÃO - INTERAÇÃO DA SALINIDADE COM DOSES DE POTÁSSIO PARA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DE SALINOS EM <i>Lactuca sativa</i> L. SOB CULTIVO HIDROPÔNICO. ....	41



10. MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
10.1 Descrição do experimento .....	43
10.2 Caracterização do local da pesquisa .....	43
10.3 Delineamentos experimentais.....	43
10.4 Formulações das soluções nutritivas para o cultivo da alface .....	44
10.5 Preparo das soluções nutritivas.....	45
10.5.1 Preparo das águas salinas simuladas .....	45
10.6. Indicadores de crescimento .....	46
10.7 Variáveis relacionadas ao estresse salino .....	46
10.7.1 Danos de membrana (DM) .....	46
10.7.2 Conteúdo relativo de água (CRA) .....	47
10.7.3 Teor de umidade (%UM).....	47
10.8 Determinações dos solutos inorgânicos.....	48
10.8.1 Relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{K}^+$ .....	48
10.9 Análises estatísticas .....	48
11. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
11.1 Indicadores de crescimento .....	50
11.2 Indicadores nutricionais.....	55
11.3 Indicadores de estresse .....	56
12. CONCLUSÃO.....	58
13. CAPÍTULO IV – INTRODUÇÃO - BALANÇO NUTRICIONAL NA SOLUÇÃO NUTRITIVA EM CULTIVO HIDROPÔNICO SUBMETIDAS A CONDIÇÕES SALINAS. .....	59
14. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
14.1 Descrição do experimento .....	61
14.2 Caracterização do local da pesquisa .....	61
14.3 Delineamentos experimentais.....	62
14.4 Formulações das soluções nutritivas para o cultivo da alface .....	62
14.5 Preparo das soluções nutritivas.....	63
14.5.1 Preparo das águas salinas simuladas .....	63
14.6 Indicadores de crescimento .....	64
14.7 Variáveis relacionadas ao estresse salino .....	65
14.7.1 Danos de membrana (DM) .....	65
14.7.2 Conteúdo relativo de água (CRA) .....	65

14.7.3 Teor de umidade (%UM).....	66
14.8. Determinações de solutos inorgânicos .....	66
14.8.1 Relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{K}^+$ .....	66
14.9 Análises estatísticas .....	66
15. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
15.1 Indicadores de crescimento .....	68
15.2 Indicadores nutricionais.....	72
15.3 Indicadores de estresse .....	73
16. CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS .....	77

## 1. CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO – INFORMAÇÕES GERAIS

Com centro de origem na Ásia a alface é conhecida há mais de 4.500 anos a.C, essa hortaliça folhosa chegou ao Brasil através dos portugueses por volta do século XVI onde ganhou espaço na mesa dos consumidores por sua versatilidade nas refeições, principalmente nos fast-foods. Possui baixo valor calórico, alto teor de água (95%) e uma composição nutricional rica em fibras, vitaminas (A, E, C, complexo B) e minerais (Ca, P, K, Fe) (OHSE, 2001). A alface é uma cultura bastante difundida em todo território nacional apesar de ser influenciada por condições climáticas, em que, tais condições exigem manejos e técnicas que busquem o aprimoramento do seu cultivo (BLAT et al., 2011).

A hidroponia é uma técnica de cultivo em ambiente protegido na qual o solo é substituído pela solução nutritiva onde estão presentes todos os nutrientes essenciais para a planta, sendo também conhecida como cultivo sem solo. Essa técnica logo ganhou destaque no mercado por apresentar atributos econômico-sustentáveis e menores impactos ambientais, nos quais a planta apresenta bom desenvolvimento, menor tempo de colheita e rápido retorno econômico (COSTA, 2001; CARMO JR, 2000). No Brasil o cultivo hidropônico tem destaque nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, esses estados vêm aprimorando há muitos anos essa técnica, em busca de maiores produções dentro das suas faixas climáticas (SANTOS, 2000). O processo de introdução dessa técnica no Brasil foi em 1980 pelos japoneses Shigeru Ueda e Takanori Sekine, que trouxeram do Japão para São Paulo, e em 1990 o sistema hidropônico já havia alcançando uma área de 12 mil hectares (RODRIGUES, 2002).

No semiárido Nordeste a agricultura enfrenta entraves edafoclimáticas, tais como sua irregularidade pluviométrica, solos pouco profundos, pedregosos e em grande parte pouco férteis. Outro fator importante é a salinidade dos solos e da água que tem correlação direta com sua formação geológica. Segundo Ayres & Westcot (1999), o cultivo da alface em sistema hidropônico é uma solução para fortalecer a agricultura no semiárido nordestino, uma vez que essa cultura é considerada “moderadamente sensível” a salinidade.

Segundo Alves et al. (2011) o cultivo hidropônico propicia maior eficiência no uso da água por diminuir as perdas por evaporação e percolação, e ainda tem menor efeito da salinidade sobre as plantas por causa do seu potencial matricial. Essas vantagens mostram que pesquisas relacionadas a adaptações na solução nutritiva são mais um passo para aumentar a

produtividade e a qualidade da alface cultivada no semiárido nordestino. Cometti et al. (2008) consideram o ajustamento e monitoramento da solução nutritiva um fator primordial para um cultivo bem sucedido, levando-se em conta as características físico-químicas da água para haver equilíbrio osmótico na planta. Esse ajustamento da solução nutritiva ainda é pouco estudado visto que as soluções propostas por vários autores usam como referência características físico-químicas das águas da região sul do país.

Na perspectiva de se obter máxima eficiência produtiva, os agricultores utilizam as soluções propostas Hoagland & Arnon (1938) e atualmente a de Furlani (1999). Contudo cada cultura possui sua exigência nutricional própria, o que exige uma formulação específica para seu melhor desempenho. Ghazi & Al-Karaki (2006) denotam que o cloreto de sódio (NaCl) presente em águas salobras é o principal causador de estresse nas plantas. E altas concentrações desse íon afetam negativamente a absorção de  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  (TESTER & DAVENPORT, 2003; TAMMAM et al., 2008).

Lacerda et al. (2003) constatou que uma adubação mais adequada de  $K^+$  pode melhorar a performance da planta sob estresse salino. Já a função do  $Ca^{2+}$  ainda não é bem conhecida, mas sabe-se que quando esse cátion é aplicado de forma suplementar ocorre à diminuição do estresse salino através da preferência seletiva do  $K^+$  sobre o  $Na^+$  (NIU et al., 1995). Diante do exposto, esse trabalho tem como proposta a otimização da solução nutritiva, através de adaptações da formulação proposta por Furlani (1999), através da variação dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $K^+$  na solução nutritiva. Acredita-se que a alteração nos teores de  $Ca^{2+}$  e  $K^+$  nessa solução, para o cultivo de alface hidropônico em sistema *Floating*, possam mitigar os efeitos da salinidade no semiárido nordestino.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aspectos botânicos e econômicos da cultura

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta pertencente à família Asteraceae e subfamília Cichorieaceae é uma planta anual, herbácea, com folhas de diversos tamanhos, formas e texturas, podendo ser lisas ou crespas, de coloração verde-clara, verde-escura ou roxa variando de acordo com a cultivar. A planta possui caule diminuto onde se prende as folhas que crescem em volta do caule formando uma roseta. O sistema radicular é do tipo ramificado e superficial (FILGUEIRA, 2003).

A facilidade e praticidade da alface no seu preparo principalmente *in natura*, fez com que essa hortaliça folhosa ganhasse destaque na alimentação do brasileiro (SALA & COSTA, 2012). Podendo ser cultivada em faixas de temperatura em torno de 15,5°C - 29,4°C, para esta última desde que possua temperaturas mais baixas durante a noite (SANDERS, 2013).

Nos últimos anos a alfavicultura vem ganhando novos mercados e novos consumidores, por ser uma hortaliça rica em minerais, fibras e vitaminas e de baixo custo o seu consumo vem crescendo positivamente e está cada vez mais presente na mesa do brasileiro. A procura das alfaces do grupo Crespa vem ganhando espaço, antes ocupado predominantemente pelo grupo Lisa, sua morfologia apresenta folhas flabeladas e bordas onduladas, folhas flexíveis e de coloração verde-claro e não forma cabeça, sua tolerância a altas temperaturas é outra característica muito procurada (CELINA, 2020).

O consumo de alface ganhou destaque no mundo por sua composição nutritiva rica em vitaminas e minerais (SANTI et al., 2010). Os maiores produtores de alface são a China, com 23,6 milhões de toneladas (52% da produção mundial), seguida dos Estados Unidos e Índia. No Brasil a produção chega a 1,5 milhões de toneladas, dando-se destaque a região Sul como maior produtora, estima-se que para a safra 2019/2020 haja um aumento de área plantada de 12% (PAULA & MACHADO, 2021)

A produção de alface nos últimos anos caminha para estimativas positivas como a hortaliça-folhosa mais consumida no Brasil (SALA & COSTA, 2012). A sua praticidade em ser servida crua e ter uma boa palatabilidade são características apreciadas pelo comércio e pelo consumidor (SILVA, 2011).

O cultivo da alface tem um papel importante na sociedade, uma vez que, faz parte de vários programas de comercialização dessas hortaliças em escolas, creches, hospitais, entre

outras, em parceria com órgãos públicos. O pequeno e médio agricultor recebe assistência técnica rural e crédito através de programas como o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) e o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) para o cultivo e comércio dessa hortaliça, seja em sistema hidropônico ou convencional (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2021).

## 2.2 Cultivo hidropônico em sistema DFT

No Brasil são usadas diferentes técnicas de cultivo hidropônico, sendo mais difundidas as técnicas de Fluxo profundo (DFT) e a técnica de Fluxo laminar de nutrientes (NFT), (SILVA FILHO, 2014). O sistema Floating ou DFT é classificado como técnica de grande potencial econômico para a região Nordeste, visto que propicia boas respostas ao cultivo de plantas em águas salinas, essa técnica forma uma lâmina profunda de 5 a 10 cm, onde as raízes das plantas ficam constantemente submersas na solução nutritiva (BARNABÉ et al., 2013).

Estudos com uso de águas salobras em sistemas hidropônicos NFT e DFT indicaram que o tipo de sistema tem influência significativa na produção e nas variáveis relacionadas ao crescimento da alface Elba cultivada em hidroponia, havendo um acúmulo de matéria fresca e seca da parte aérea, além do diâmetro do caule e do teor de água na parte aérea da planta, mostrando resultados maiores que no sistema NFT (SANTOS et al., 2011).

Silva et al. (2016) destacam ainda que o sistema DFT possui vantagem sobre o NFT nas menores frequências de aeração da solução nutritiva devido a sua longa exposição a solução nutritiva. Zeroni et al. (1983) ainda destacaram o menor custo de construção do sistema DFT e seu alto poder tampão devido ao seu grande volume de solução nutritiva disponível para a planta. Desta forma o sistema hidropônico DFT atende a vários pontos cruciais para a sua introdução no semiárido brasileiro.

### 3. HIPÓTESES

- a) A produtividade de *Lactuca sativa* L. cultivada em sistema DFT (“*deep film technique*”) sob salinidade e em ambiente semiárido pode ser melhorada com adaptações nos teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{K}^{+}$  da solução nutritiva.
  
- b) Variações nos teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{K}^{+}$  na solução nutritiva promovem regulação da homeostase iônica e nutricional de plantas de *Lactuca sativa* L. cultivada em sistema DFT (“*deep film technique*”) sob salinidade e em ambiente semiárido.

#### **4. OBJETIVO GERAL**

Avaliar as variações nos teores de Cálcio e Potássio como mitigadores nas soluções nutritivas com água salobra em plantas de *Lactuca sativa* L. em cultivo hidropônico, através de indicadores morfofisiológicos e nutricionais.



## 5. CAPÍTULO II - INTRODUÇÃO - INTERAÇÃO DA SALINIDADE COM DOSES DE CÁLCIO PARA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS SALINOS EM *Lactuca sativa* L. SOB CULTIVO HIDROPÔNICO.

Várias pesquisas tem evidenciado a importância do estudo sobre a salinidade no cultivo de plantas, principalmente o sódio, os efeitos desse elemento na planta são visíveis em diversas culturas de caráter agrônomicos (YAHYA, 1998; BETHKE E DREW, 1992). Esses íons causam estresse hídrico que por sua vez ocasionam distúrbios fisiológicos e de forma direta problemas na estrutura das membranas e outras funções nas células.

As plantas apresentam mecanismos que permitem períodos de tolerância a esses estresses, tais como acumulo íons no vacúolo, ajustamento osmótico e manutenção da água na célula. Outro mecanismo importante na tolerância á sais é a absorção e a distribuição de alguns elementos. Rengel, (1992); lacerda, (2000) observaram que indiretamente a diminuição de plantas sobre estresse salino se devem a diminuição da absorção de íons como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$

O  $\text{Ca}^{2+}$  é um macronutriente fundamental para as plantas, responsável por diversos processos metabólicos, dentre os quais está à integridade da membrana celular, assim como a preservação de outros nutrientes (MALAVOLTA, 2008). O cálcio é concentrado nos tecidos que transpiram, sendo acumulado nas folhas. O balanço nutricional entre  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  permite que a planta complete seu ciclo sem que haja toxicidade pelo  $\text{Na}^+$ . Diversas pesquisas mostram o cálcio como mitigador de estresse salino, contudo estudos sobre o balanço nutricional e o sinergismo em relação absorção de  $\text{K}^+$  ainda não são bem compreendidos (RANADE-MALVI, 2011). O estudo sobre a interação do  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$  e seus sítios de absorção são objetos de estudos importantes para a nutrição de plantas.

A concentração desses íons na solução nutritiva é objeto de estudo por vários autores, e preconizados por Furlani et al (1999), onde o autor enfatiza como melhor condutividade elétrica para o cultivo de alface cerca de  $2 \text{ dS/m}^{-1}$ . Adriolo et al (2005) destaca a importância de estudos sobre a salinidade em relação a solução nutritiva.

A relação da condutividade elétrica e a concentração de sais na solução nutritiva é um parâmetro difícil de estabilizar. Benoit e Ceustermans (1989) apud Koefender (1996) obtiveram em seus estudos resultados que em altas condutividades elétricas obtiveram plantas mais quebradiças e condutividades baixas obtiveram plantas bem desenvolvidas, contudo apresentaram queima de borda.

O estudo da interação da condutividade elétrica da solução nutritiva juntamente com a absorção de  $\text{Ca}^{2+}$  visa entender metabolismos e otimizar o uso de sais na formulação das soluções nutritivas em regiões com uso de água salobras na agricultura. Assim o objetivo

desse trabalho é encontrar um equilíbrio iônico para soluções nutritivas adaptadas às águas salobras da região nordeste brasileira usando a hidroponia como técnica de cultivo.

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

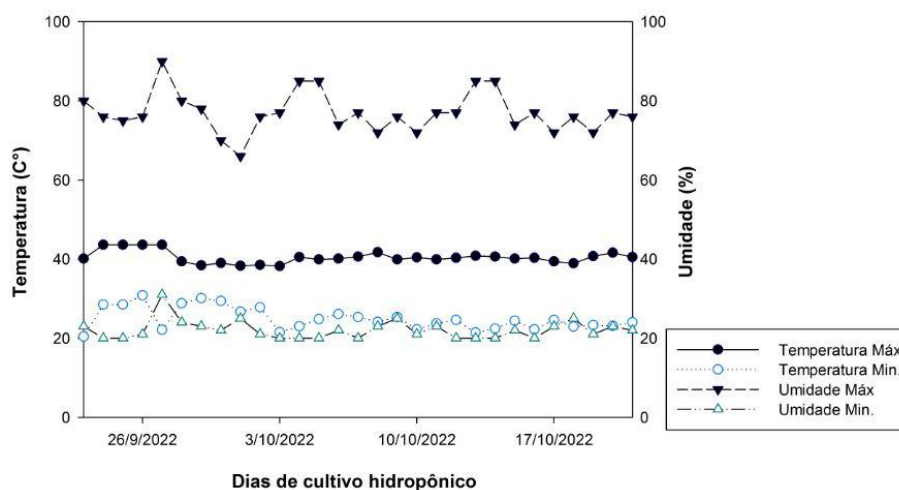
### 6.1 Descrição do experimento

O primeiro estudo da pesquisa foi à interação da salinidade com doses de cálcio, a fim de determinar o comportamento fisiológico das plantas, buscando melhorar o cultivo hidropônico na região Nordeste.

### 6.2 Caracterização do local da pesquisa

O trabalho foi realizado em viveiro com dimensões 12mx30m no Setor Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e no Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV), localizado no município de Catolé do Rocha (PB). A cidade está situada a 6° 21" de latitude S e 37° 48" de longitude O, a uma altitude de 272 m (Figura 10). O clima da região é 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.

**Figura 1.** Dados de acompanhamento de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da estufa no 1° ciclo, no período de 23/09/2021 a 23/10/2021.



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

### 6.3 Delineamentos experimentais

Para o experimento I foi utilizado o Delineamento de Inteiramente Casualizado (DIC) com esquema fatorial 4x5, correspondendo a quatro tratamentos (1.5, 2.5, 3.5 e 4.5 dS/m) e cinco doses de Cálcio (60; 67,5, 75; 82,5 e 90g/100L) com seis repetições, perfazendo um total de 120 unidades experimentais.

### 6.4 Formulações das soluções nutritivas para o cultivo da alface

Para a formulação das soluções nutritivas dos experimentos foi utilizada como base e como dose controle a solução nutritiva descrita por Furlani (1999) como mostra o tabela 6. Para os tratamentos do experimento I foram feitas adaptações e combinações descritas na tabela 7.

**Tabela 1.** Fontes e doses da solução nutritiva de Furlani.

<b>Adubo ou Sal</b>	<b>g/1000 L</b>
Nitrato de cálcio	750,00
Nitrato de potássio	500,00
Fosfato monoamônico	150,00
Sulfato de magnésio	400,00
Ácido bórico	1,50
Sulfato de manganês	1,31
Sulfato de zinco	0,50
Sulfato de cobre	0,15
Molibdato de sódio	0,17
Cloreto férrico	13,00
EDTA- dissódico	17,00

**Fonte:** Furlani (1999)

**Tabela 2.** Valores das condutividades elétricas e das doses de Cálcio do experimento I.

Tratamentos	CE (dS/m)	Ca <sup>2+</sup> (g/100L)
S1Ca1	1,5	60
S1Ca2	1,5	67,5
S1Ca3	1,5	75
S1Ca4	1,5	82,5
S1Ca5	1,5	90
S2Ca1	2,5	60
S2 Ca2	2,5	67,5
S2Ca3	2,5	75
S2Ca4	2,5	82,5
S2Ca5	2,5	90
S3Ca1	3,5	60
S3Ca2	3,5	67,5
S3Ca3	3,5	75
S3Ca4	3,5	82,5
S3Ca5	3,5	90
S4Ca1	4,5	60
S4Ca2	4,5	67,5
S4Ca3	4,5	75
S4Ca4	4,5	82,5
S4Ca5	4,5	90

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

## 6.5 Preparo das soluções nutritivas

### 6.5.1 Preparo das águas salinas simuladas

As águas salinas simuladas foram preparadas com a suplementação de NaCl em água de abastecimento subterrâneo até atingirem a condutividade elétrica pré-determinada para as salinidades S2, S3 e S4, já a solução controle com S1 foi preparada com água destilada e sua condutividade foi atingida apenas com os sais presentes em suas fontes minerais, como mostra a tabela 8.

**Tabela 3.** Condutividade elétricas (CEs) das águas salinas simuladas e da solução controle.

Variável de salinidade	CE das soluções nutritivas	CE das soluções salinas simuladas	CE final
S1	1,5	0	1,5
S2	1,5	1	2,5
S3	1,5	2	3,5
S4	1,5	3	4,5

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2021.

### 6.6 Indicadores de crescimento

A massa fresca (MF) foi feita com a pesagem do material segundos depois de fazer a colheita, com unidade de medida em gramas (g) em balança de precisão. A altura das plantas (AP) foi medida do colo da planta até o ápice da última folha desenvolvida; a determinação do número total de folhas (NTF) será feita pelo número total de folhas obtidas pela contagem direta, enquanto o número comercial de folhas (NCF) será obtido através da contagem direta de folhas sem danos visuais. O diâmetro da cabeça (DC) será mensurado com uma trena de uma extremidade a outra da planta correspondendo ao diâmetro de uma circunferência. O comprimento e diâmetro do caule serão obtidos através da retirada de todas as folhas das plantas avaliadas, as quais serão medidas posteriormente através da utilização do paquímetro, na determinação do diâmetro do caule será tomada uma medida aproximadamente perpendicular ao caule avaliado. O volume da raiz (VR) foi obtido pelo deslocamento da coluna de água na proveta de 1000ml (SANTANA et al., 2003), onde coloca-se um volume de 500ml de água na proveta e logo após introduz a raiz, observando o movimento da coluna de água em ml, que corresponderá ao volume da raiz com unidade de medida em cm<sup>3</sup>. O comprimento da raiz (CR) será determinado medindo-se do colo da planta até a extremidade inferior da raiz, utilizando uma régua graduada com unidade de medida em cm. Após a pesagem da massa fresca e as demais análises de crescimento as partes da planta (folhas, caule e raiz) foram embaladas em sacos de papel e em seguida colocadas em estufa com circulação ar a 65°C por 96 horas até peso constante. Após este período, pesou-se para a determinação de massa seca (MS) por planta, com unidade de medida em gramas (g) na balança de precisão, figura 11.

**Figura 2.** Análises morfológicas da alface.



Fonte: Elaborada pela autora, 2021/2022.

## 6.7 Variáveis relacionadas ao estresse salino

### 6.7.1 Danos de membrana (DM)

A percentagem de danos na membrana se baseia em avaliar indiretamente os danos, nas membranas, causados pelo tratamento. As folhas e raízes são lavadas 3x em água destilada-deionizada, e são retirados 30 discos das folhas e 10 segmentos de raízes laterais de plantas adultas. Em seguida o material transferido para tubos com tampa contendo 10ml de H<sub>2</sub>Odd e deixar em repouso por no mínimo 6 horas a 25°C sob agitação ocasional, transferir o “extrato” para outros tubos e proceder leitura de condutividade a 25°C retornar o “extrato” para os tubos eu contém as amostras e realizar fervura a 100°C por 60 minutos colocar para resfriar a temperatura ambiente até retornar a 25°C e realizar nova leitura de condutividade, o resultado será expresso em % de danos de membrana:

$$\%DM = \frac{C1}{C2} \times 100$$

Onde: %DM = percentual de danos de membrana

C1 = condutividade inicial

C2 = condutividade final

### 6.7.2 Conteúdo relativo de água (CRA)

É feita a coleta material e logo são retirados 300mg de discos foliares de 1cm de diâmetro (para plantas adultas); 300mg de segmentos de 5cm de raízes laterais (para plantas adultas); 6 folhas (para plântulas pequenas); 3 segmentos de cm da região basal da raiz (para plântulas pequenas). Em seguida determina imediatamente o peso fresco em balança semi-analítica (MF). O material é transferido para a placa de petri deixando na bancada (25°C) por um período mínimo de 6h, após isso é colocado em papel toalha para retirar o excesso de água e pesa-se para determinar a massa túrgica (MT), então seguida coloca-se os discos em saco de papel e seca em estufa (75°C) por 48h e posteriormente determinar a massa seca dos segmentos (MS). O cálculo de conteúdo relativo de água (C.R.A) usando a relação descrita por Cairo (1995).

$$CRA = \frac{MF}{MT} - \frac{MS}{MS} \times 100$$

### 6.7.3 Teor de umidade (%UM)

O teor de umidade em porcentagem é feito pela diferença da Massa fresca da planta e a Massa seca da planta dividido pela massa fresca, multiplicado por cem.

$$\%UM = \frac{MF - MS}{MF} \times 100$$

## 6.8 Determinações dos solutos inorgânicos

### 6.8.1 Relação $Na^+/Ca^{2+} + K^+$

Para determinar os nutrientes cálcio, potássio e sódio foi utilizado o fotômetro de chama. A fotometria de chama permite determinar a concentração de sais específicos em soluções. O método da espectrometria de emissão de chama (EEC), resumidamente consiste em obter valores numéricos que correspondam á intensidade da luz emitida pelo íon, o que conseqüentemente é proporcional á concentração do íon na solução. Vale ressaltar que essa excitação eletrônica é proporcionada pela energia da chama e que cada íon, emite um



comprimento de onda específico. Para a extração foram pesados 1g da amostra seca e colocadas em tubos de ensaio de 12ml com tampa, e completado para o volume de 10ml de água destilada, em seguida as amostras foram para o banho maria á uma temperatura de 80°C por 1h. Após o resfriamento das amostras em temperatura ambiente as amostras foram diluídas novamente em 100µl para 10 ml de água destilada.

Para a padronização das amostras foram utilizados nitrato de cálcio p.a, cloreto de potássio p.a e cloreto de sódio p.a., com concentrações de 0ppm a 100ppm. Após a padronização e calibração do equipamento foram feitas as leituras das amostras do experimento. Foi anotado o valor da leitura dos extratos e procedido os cálculos para encontrar a concentração de cálcio, potássio e sódio nas amostras preparado (VOGEL, 1981) adaptado.

#### 6.9 Análises estatísticas

Os dados inicialmente foram submetidos ao teste de normalidade (Scott knott) e homogeneidade (Levene) respectivamente, em seguida foi feito (teste F a 5% de probabilidade). Os fatores quantitativos relativos aos níveis de salinidade e adubação foram analisados estatisticamente por meio de regressão linear ou quadrática, enquanto que os fatores qualitativos através de teste para comparação de médias, com base no teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Software Sisvar e para a construção dos gráficos foram no programa SigmaPlot 12.0.

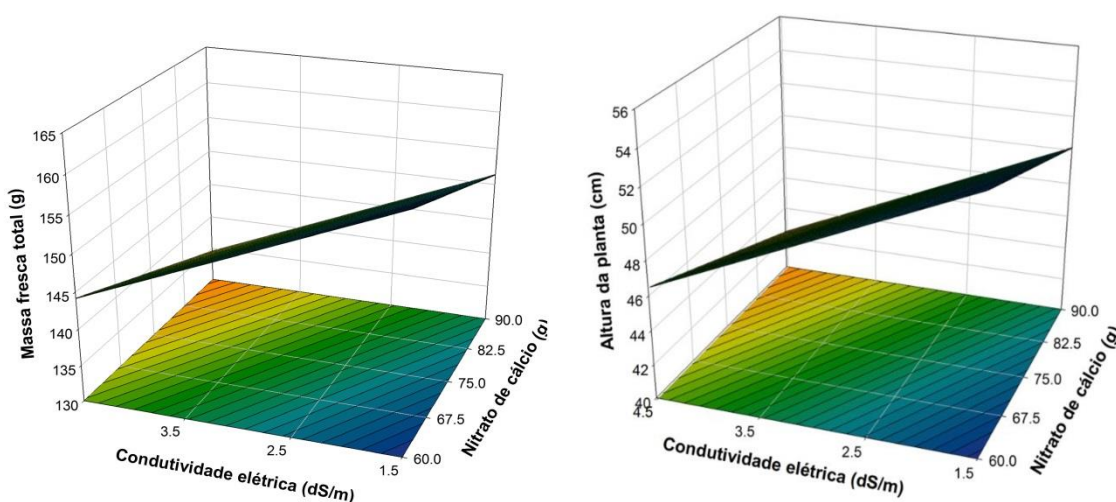
## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Indicadores de crescimento

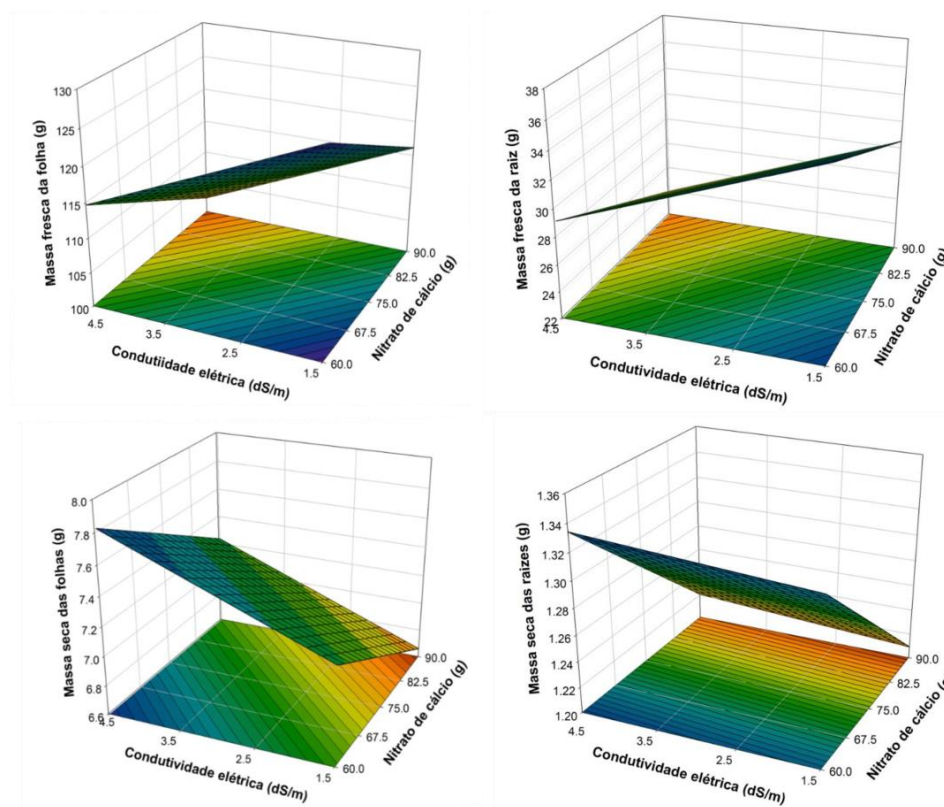
O crescimento das plantas é sensível a salinidade, o processo de desenvolvimento, crescimento e produção de biomassa são parâmetros para analisar o nível de estresse e a produção das plantas e sua adaptação ao estresse salino (LARCHER, 2004).

À medida que a condutividade elétrica e as doses de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  aumentaram a massa fresca total (MFT), massa fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), altura das plantas (ALT) e diâmetro da cabeça (DC), apresentaram comportamento semelhantes, onde o melhor resultado foi na dose de 60g de nitrato de cálcio e condutividade elétrica de 1,5 dS/m. Esse resultado comprova que a relação  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  está intimamente ligada a suas concentrações, onde não há inibição de outros elementos. Houve decréscimo das variáveis a medida que a dose de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  aumentava e condutividade elétrica aumentava, tendo menor resultado na dose 90g de nitrato de cálcio e condutividade de 4,5 dS/m. A diminuição das plantas a medida que a condutividade elétrica aumentava mostrou que a concentração de íons na solução nutritiva prejudica de forma acentuada o crescimento e a biomassa das plantas. Contudo a essa a adubação com 90g de nitrato de cálcio diminuiu os dados nas condutividades de 2,5; 3,5 e 4,5.

A massa seca das raízes (MSF) e a área foliar (AF) obtiveram menor média na dose de 90g de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , em que, a interação entre os fatores se mostrou um resultado contrário ao da MFF.

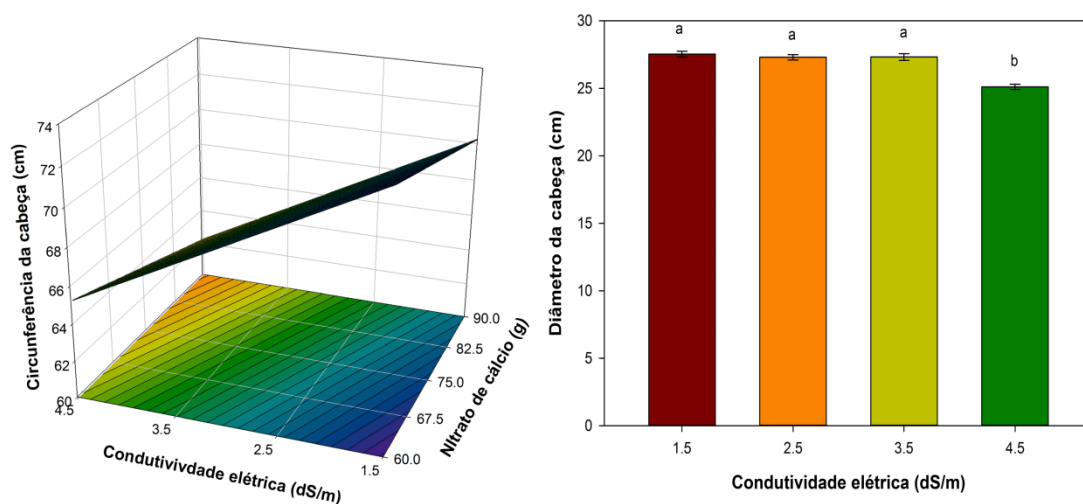


**Figura 3.** Gráficos de superfície resposta para as variáveis MFT e ALT.



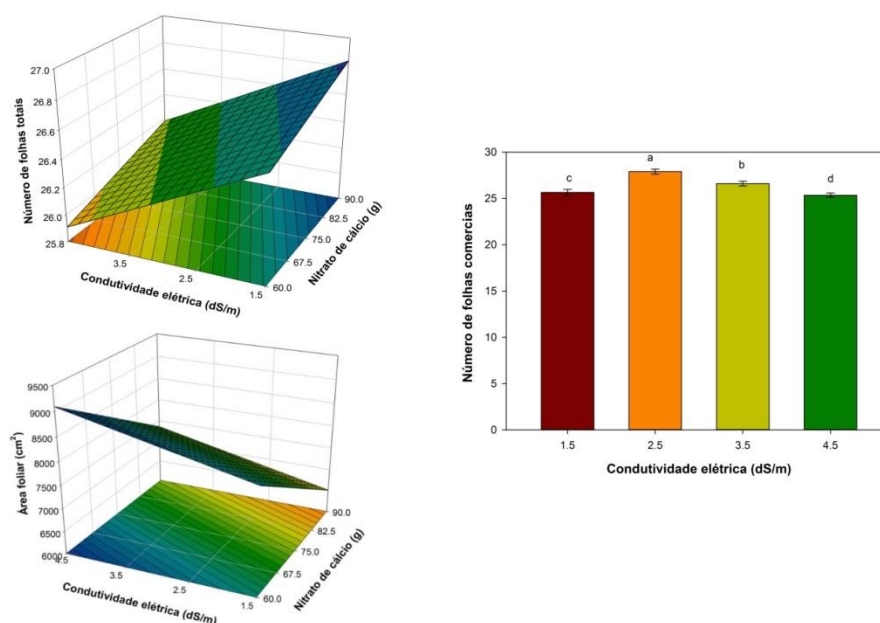
**Figura 4.** Gráficos de superfície resposta para as variáveis massas fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das folhas (MSF) e massa seca das raízes (MSR).

A massa seca das raízes (MSR) teve menor média na dose de 90g de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , independente da condutividade elétrica, a alta concentração de nitrato de cálcio na solução nutritiva diminuiu significativamente a massa seca das raízes de forma linear e continua. Essa diminuição se deve pelo desequilíbrio, na relação  $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$  em que a alta concentração de cálcio inibem faça com que as plantas acumulem mais água em seus tecidos e diminua a matéria seca (SCHIMIDT et al. 2001).



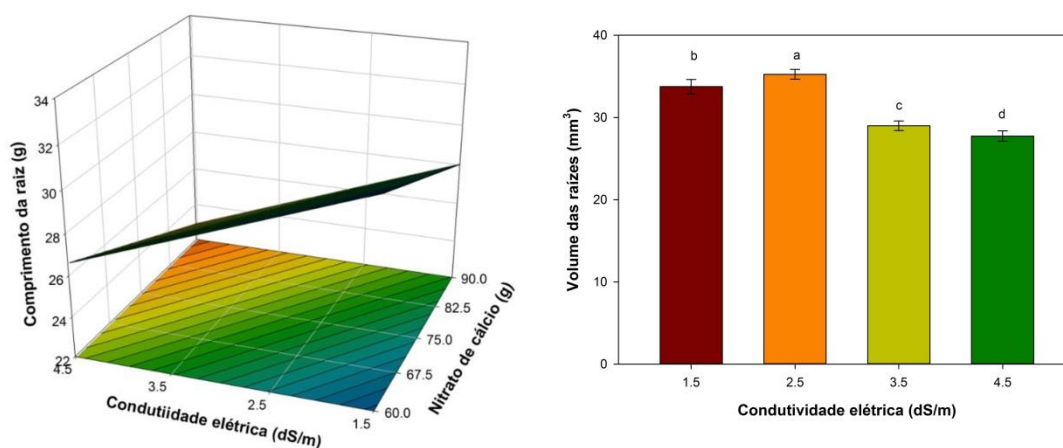
**Figura 5.** Gráfico de superfície resposta para a variável Circunferência da cabeça (CC) em interação com os fatores Cálcio x CE, e gráfico de barras para a variável Diâmetro da cabeça (DC) em relação a condutividade elétrica das soluções nutritivas. (Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade).

O diâmetro da cabeça (DC) apresentou efeito significativo para condutividade elétrica, não apresentando efeito significativo entre as condutividades 1,5; 2,5 e 3,5. A menor média de DC das plantas ocorreu na condutividade de 4,5.



**Figura 6.** Gráfico de superfície resposta para as variáveis Número de folhas totais (NFT), área foliar (AF); gráfico de barras para a variável número de folhas comerciais (NFC) em relação a condutividade elétrica. (Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

O número de folhas totais (NFT) teve efeito significativo entre os fatores condutividade elétrica e doses de nitrato de cálcio, com maior número de folhas totais na dose de 90g e condutividade elétrica de 1,5dS/m. Esse resultado é se distingue bastante em relação a área foliar (AF), em que, as folhas eram menores na dose de 90g, A divergência entre esses resultados demonstram que o parâmetro número de folhas nem sempre é apontado para indicar tolerância à salinidade, tendo em vista que a planta pode apresentar uma redução da sua área foliar em função do aumento dos níveis salinos sem ter seu número total de folhas reduzido. O número de folhas comerciais (NFC) apresentou resultados significativo para a condutividade elétrica, onde o maior número de folhas comerciais foi na CE 2,5 dS/m, o mesmo resultado foi observado no volume das raízes (VR).



**Figura 7.** Gráfico de superfície resposta para a variável comprimento das raízes (CR), gráfico de barras para a variável volume das raízes (VR).

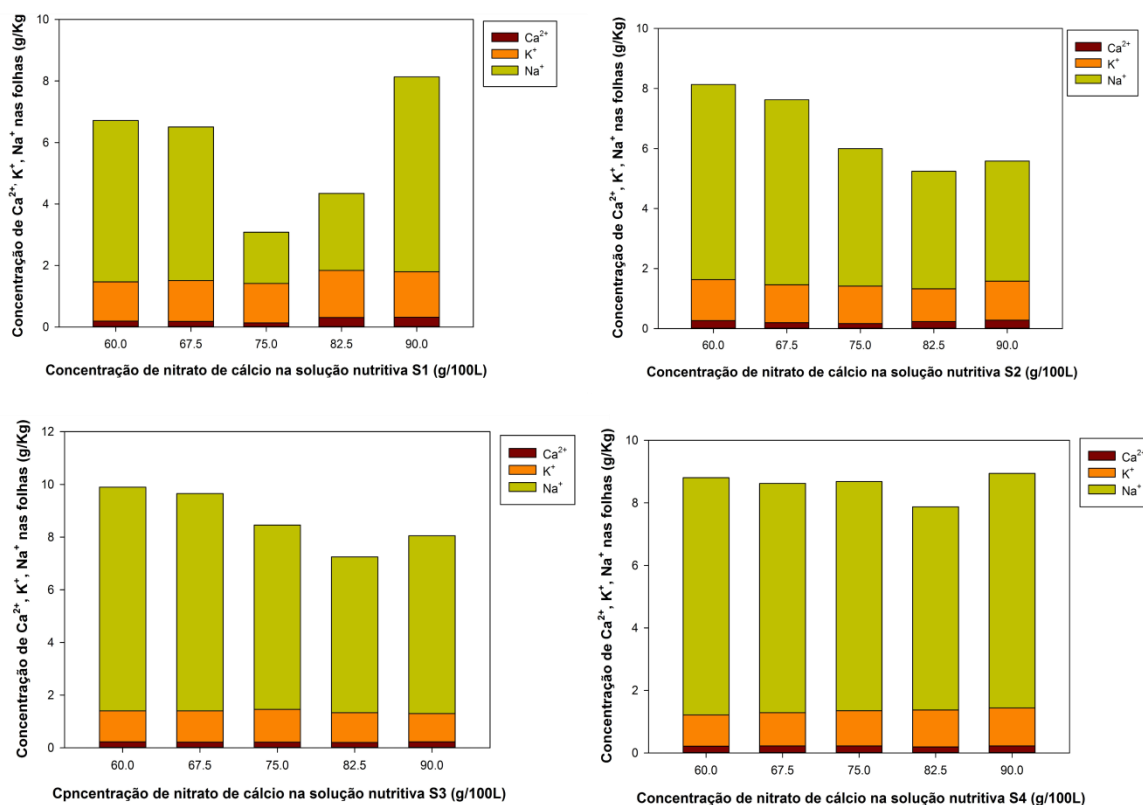
**Tabela 4.** Equações e R2 dos gráficos

$ALT = 66,22 - 0,1358 * X - 2,5650 * Y$	$R^2 = 0,99$
$.MFT = 188,7492 - 0,3217 * X - 5,6110 * Y$	$R^2 = 0,52$
$MFF = 159,968 - 0,4104 * X - 4,5950 * Y$	$R^2 = 0,70$
$MFR = 49,2488 - 0,1722 * X - 2,1722 * Y$	$R^2 = 0,54$
$MSF = 8,1597 - 0,0198 * X - 0,19099 * Y$	$R^2 = 0,57$
$MSR = 1,5435 - 0,0038 * X - 0,0038 * Y$	$R^2 = 0,91$
$NFT = 26,3475 + 0,0092 * X - 0,2200 * Y$	$R^2 = 0,94$

$AF = 11315 - 57,9911 * X + 279,1774 * Y$	$R^2 = 0,84$
$CR = 41,7188 - 0,1238 * X - 1,7000 * Y$	$R^2 = 0,60$
$CC = 83,3825 - 0,1017 * X - 2,6650 * Y$	$R^2 = 1$

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

## 7.2 Indicadores nutricionais



**Figura 8.** Concentração de cálcio, potássio e sódio nas folhas em relação à concentração de nitrato de cálcio nas soluções nutritivas S1, S2, S3 e S4.

Os gráficos de barras representam a relação  $Ca^{2+}/K^+/Na^{2+}$  com as concentrações das soluções nutritivas em relação com diferentes doses de  $Ca(NO_3)_2$  em suas respectivas condutividades elétricas. Na Condutividade elétrica S1 maiores concentrações de  $Ca^{2+}$  forma nas doses de 82,5g (0,3083333333g/kg de  $Ca^{2+}$ ) e 90g (0,3166666667 g/kg de  $Ca^{2+}$ ). Contudo na os valores que apresentaram melhor proporção entre os nutrientes ( $Ca^{2+}/K^+/Na^{2+}$ ) foram às doses de 60g (0,1916666667/1,275/5,25g/kg) e 67,5g (0,2/ 1,2583333333/ 6,166666667) Na solução de condutividade S2 e S3 foram observados o mesmo comportamento em relação à proporção

nutricional da solução S1. Para a solução S4 todos os tratamentos apresentaram o mesmo comportamento com altas concentrações de Na<sup>+</sup> no tecido foliar. Sendo o cálcio um elemento não tóxico, mesmo me altas concentrações, não houve sintomas de toxicidade nas plantas, contudo houve sintomas de toxidez pelo Na<sup>+</sup>.

### 7.3 Indicadores de estresse

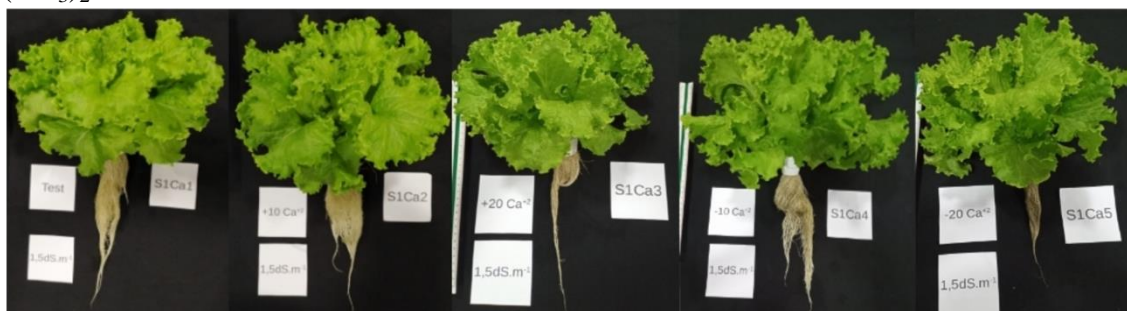
**Tabela 5.** Análise de variância das variáveis: conteúdo relativo de água (CRA), umidade (UM%) e danos de membrana (DM).

FV	GL	QM
<b>CRA</b>		
Cálcio	4	388,6676 <sup>ns</sup>
CE	3	51,9830 <sup>ns</sup>
CálcioxCE	12	321,2555 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	217,9053
CV (%)		1,22 %
<b>UM</b>		
Cálcio	4	1,1752 <sup>ns</sup>
CE	3	0,5313 <sup>ns</sup>
CálcioxCE	12	1,9098 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	1,9013
CV(%)		1,48%
<b>DM</b>		
Cálcio	4	104,8653 <sup>ns</sup>
CE	3	198,8286 <sup>ns</sup>
CálcioxCE	12	77,8100 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	45,3210
CV(%)		20,60%

(\*) significativo (P<0,05); ( ns) não-significativo.

Não houve diferença significativa nas variáveis CRA, UM, DM, nem interação entre os fatores estudados, mostrando que havendo diminuição e/ou aumento das doses de nitrato de cálcio não houve interferência na osmorregulação das células. Sendo esses parâmetros fundamentais para encontrar o equilíbrio iônico nas plantas e na solução nutritiva. A presença do cálcio mostrou-se um elemento essencial na integridade da membrana celular.

**Figura 9.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 1,5dS/m x doses de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

**Figura 10.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 2,5dS/m x doses de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

**Figura 11.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 3,5dS/m x doses de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.



**Figura 12.** Alfaces hidropônicas cultivados sob condutividade elétrica 4,5dS/m x doses de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2021.

## 8. CONCLUSÃO

- A redução de 20% de cálcio (60g/100L) na solução nutritiva proporcionou plantas com maiores médias morfológicas;
- O cálcio proporcionou atenuação dos efeitos da salinidade em alface hidropônica;
- Concentrações acima de 75g causam decréscimo na produção de alface hidropônico.

### **9. CAPÍTULO III – INTRODUÇÃO - INTERAÇÃO DA SALINIDADE COM DOSES DE POTÁSSIO PARA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DE SALINOS EM *Lactuca sativa* L. SOB CULTIVO HIDROPÔNICO.**

O uso de águas salobras na agricultura é bastante comum na região nordeste brasileira, e várias pesquisas vem sendo desenvolvidas para a mitigar os efeitos dos sais nas plantas. No entanto Maas e Hoffman (1989) e também Ayres e Westcot (1999) destacam grupos de plantas tolerantes e plantas sensíveis aos sais. A alface (*Lactuca sativa* L) é classificada como moderadamente sensível á salinidade (AYRES & WESTCOT, 1999). A hidroponia é uma técnica vantajosa que visa o aproveitamento de diversos tipos de águas na agricultura. Essa técnica consiste na utilização de solução nutritiva para substituição da matrix do solo, fornecendo todos os nutrientes essenciais para as plantas. Hoagland (2006) e colaboradores foram os pioneiros na formulação de soluções nutritivas, em que formulou soluções com altas concentrações de sais, buscando atender a necessidade das plantas, contudo as plantas não exigem altas concentrações de nutrientes, levando á alguns pesquisadores buscarem uma formulação adequada para o cultivo de plantas sensíveis a salinidade (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A necessidade de encontrar uma formulação nutritiva adequada para o semiárido nordestino é essencial para otimizar a produção dessa hortaliça. A nutrição de plantas é o principal objeto de estudo para hidroponia e para a formulação de adequada a (Oliveira et al., 2014).

O  $K^+$  é um macronutriente importante em vários processos bioquímicos das células, tais como ativador de enzimas, regulador osmótico, responsável pela abertura e fechamento dos estômatos . Gondim et al. (2010) destacaram a importância do potássio na planta só estresse salino, diminuindo a produtividade e prejudicando os processos metabólicos das plantas.

Contudo o excesso desse elemento inibi a absorção de outros elementos como  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , essa inibição ocorre devido ao desequilíbrio nas concentrações dos elementos provocando a maior ou menor absorção do outro (PRADO, 2008). O excesso de  $Na^+$  também é um fator importante na absorção de alguns nutrientes, principalmente elementos com a mesma carga elétrica (SPERLING et al, 2014).

Sendo o  $K^+$  regulador osmótico, numa concentração adequada reduziria os efeitos do  $Na^+$  nas plantas, a semelhança de carga entre eles fazem com que as plantas a acumulem nos seus tecidos esses nutrientes de forma desequilibrada pelas bombas de potássio e de sódio.

Portanto estudos sobre a relação do  $\text{Na}^+$  e do  $\text{K}^+$ , são essenciais para encontrar formulações adequadas para sistemas que utilizam águas salinas no seu cultivo, assim como a interação com outros elementos ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) e a mitigação dos efeitos dos sais nas plantas.

## 10. MATERIAIS E MÉTODOS

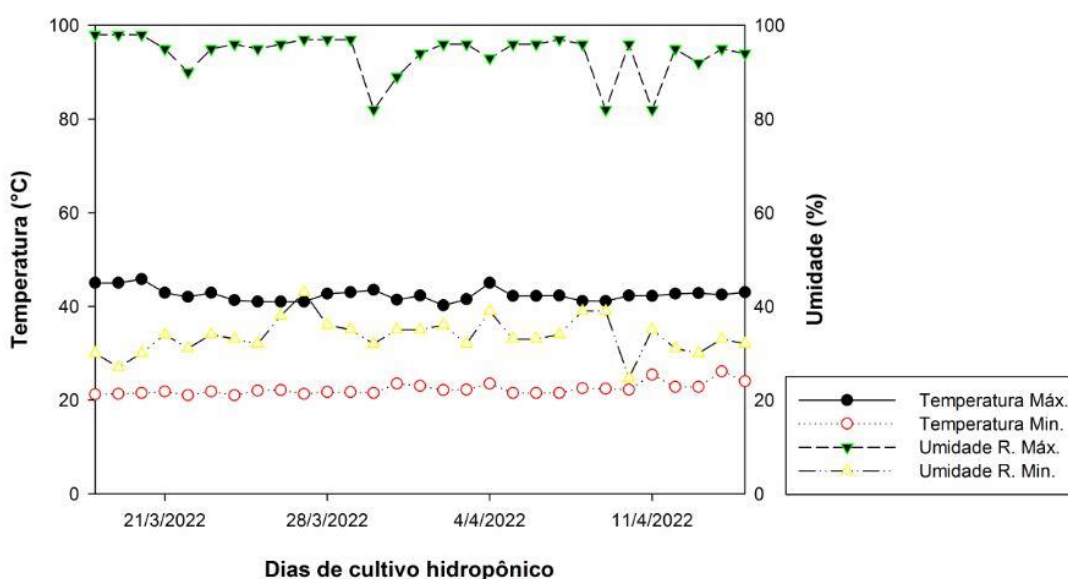
### 10.1 Descrição do experimento

O Segundo estudo da pesquisa foi à interação da salinidade com doses de Potássio, a fim de determinar o comportamento metabólico e fisiológico das plantas, buscando melhorar o cultivo hidropônico na região Nordeste.

### 10.2 Caracterização do local da pesquisa

O trabalho foi realizado em viveiro com dimensões 12mx30m no Setor Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e no Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV), localizado no município de Catolé do Rocha (PB). A cidade está situada a 6° 21" de latitude S e 37° 48" de longitude O, a uma altitude de 272 m (Figura 18). O clima da região é 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.

**Figura 13.** Dados de acompanhamento da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da estufa no 3° ciclo, no período de 18/03/2022 a 18/04/2022.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

### 10.3 Delineamentos experimentais

Para o experimento II foi utilizado o Delineamento de Inteiramente Casualizado (DIC) com esquema fatorial 4x5, correspondendo a quatro tratamentos salinos (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5dS/m) e cinco doses de Potássio 40; 45; 50; 55 e 60g/100L), com seis repetições, perfazendo um total de 120 unidades experimentais.

#### 10.4 Formulações das soluções nutritivas para o cultivo da alface

Para a formulação das soluções nutritivas dos experimentos foi utilizada como base e como dose controle a solução nutritiva descrita por Furlani (1999) como mostra o tabela 11. Para os demais tratamentos do experimento II foram feitas adaptações e combinações descritas na tabela 12.

**Tabela 6.** Fontes e doses da solução nutritiva de Furlani.

<b>Adubo ou Sal</b>	<b>g/1000 L</b>
Nitrato de cálcio	750,00
Nitrato de potássio	500,00
Fosfato monoamônico	150,00
Sulfato de magnésio	400,00
Ácido bórico	1,50
Sulfato de manganês	1,31
Sulfato de zinco	0,50
Sulfato de cobre	0,15
Molibdato de sódio	0,17
Cloreto férrico	13,00
EDTA- dissódico	17,00

Fonte: Furlani (1999)

**Tabela 7.** Valores das condutividades elétricas e das doses de potássio do experimento II.

<b>Tratamentos</b>	<b>CE (dS/m)</b>	<b>Ca<sup>+</sup> (g/100L)</b>
S1K1	1,5	40
S1K2	1,5	45
S1K3	1,5	50
S1K4	1,5	55
S1K5	1,5	60
S2K1	2,5	40
S2K2	2,5	45
S2K3	2,5	50
S2K4	2,5	55
S2K5	2,5	60
S3K1	3,5	40
S3K2	3,5	45
S3K3	3,5	50
S3K4	3,5	55
S3K5	3,5	60
S4K1	4,5	40
S4K2	4,5	45
S4K3	4,5	50
S4K4	4,5	55
S4K5	4,5	60

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2021/2022.

## 10.5 Preparo das soluções nutritivas

### 10.5.1 Preparo das águas salinas simuladas

As águas salinas simuladas foram preparadas com a suplementação de NaCl em água de abastecimento subterrâneo até atingirem a condutividade elétrica pré-determinada para as salinidades S2, S3 e S4, já a solução controle com S1 foi preparada com água destilada e sua condutividade foi atingida apenas com os sais presentes em suas fontes minerais, como mostra a tabela 13.

**Tabela 8.** Condutividades elétricas (CE) das águas salinas simuladas e da solução nutritiva controle.

Variável de salinidade	CE das soluções nutritivas	CE das soluções salinas simuladas	CE final
S1	1,5	0	1,5
S2	1,5	1	2,5
S3	1,5	2	3,5
S4	1,5	3	4,5

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2021.

## 10.6. Indicadores de crescimento

A massa fresca (MF) foi feita com a pesagem do material segundos depois de fazer a colheita, com unidade de medida em gramas (g) em balança de precisão. A altura das plantas (AP) foi medida do colo da planta até o ápice da última folha desenvolvida; a determinação do número total de folhas (NTF) será feita pelo número total de folhas obtidas pela contagem direta, enquanto o número comercial de folhas (NCF) será obtido através da contagem direta de folhas sem danos visuais. O diâmetro da cabeça (DC) será mensurado com uma trena de uma extremidade a outra da planta correspondendo ao diâmetro de uma circunferência. O comprimento e diâmetro do caule serão obtidos através da retirada de todas as folhas das plantas avaliadas, as quais serão medidas posteriormente através da utilização do paquímetro, na determinação do diâmetro do caule será tomada uma medida aproximadamente perpendicular ao caule avaliado. O volume da raiz (VR) será obtido pelo deslocamento da coluna de água na proveta (SANTANA et al., 2003), onde coloca-se um volume de 500ml de água na proveta de 1000L e logo após introduz a raiz, observando o movimento da coluna de água em ml, que corresponderá ao volume da raiz com unidade de medida em cm<sup>3</sup>. O comprimento da raiz (CR) será determinado medindo-se do colo da planta até a extremidade inferior da raiz, utilizando uma régua graduada com unidade de medida em cm. Após a pesagem da massa fresca e as demais análises de crescimento as partes da planta (folhas, caule e raiz) foram embaladas em sacos de papel e em seguida colocadas em estufa com circulação ar a 65°C por 96 horas até peso constante. Após este período, pesou-se para a determinação de massa seca (MS) por planta, com unidade de medida em gramas (g) na balança de precisão.

## 10.7 Variáveis relacionadas ao estresse salino

### 10.7.1 Danos de membrana (DM)



A percentagem de danos na membrana se baseia em avaliar indiretamente os danos, nas membranas, causados pelo tratamento. As folhas e raízes são lavadas 3x em água destilada-deionizada, e são retirados 30 discos das folhas e 10 segmentos de raízes laterais de plantas adultas. Em seguida o material transferido para tubos com tampa contendo 10ml de H<sub>2</sub>Odd e deixar em repouso por no mínimo 6 horas a 25°C sob agitação ocasional, transferir o “extrato” para outros tubos e proceder leitura de condutividade a 25°C retornar o “extrato” para os tubos eu contém as amostras e realizar fervura a 100°C por 60 minutos colocar para resfriar a temperatura ambiente até retornar a 25°C e realizar nova leitura de condutividade, o resultado será expresso em % de danos de membrana:

$$\%DM = \frac{C1}{C2} \times 100$$

Onde: %DM = percentual de danos de membrana

C1 = condutividade inicial

C2 = condutividade final

#### 10.7.2 Conteúdo relativo de água (CRA)

É feita a coleta material e logo são retirados 300mg de discos foliares de 1cm de diâmetro (para plantas adultas); 300mg de segmentos de 5cm de raízes laterais (para plantas adultas); 6 folhas (para plântulas pequenas); 3 segmentos de cm da região basal da raiz (para plântulas pequenas). Em seguida determina imediatamente o peso fresco em balança semi-analítica (MF). O material é transferido para a placa de petri deixando na bancada (25°C) por um período mínimo de 6h, após isso é colocado em papel toalha para retirar o excesso de água e pesa-se para determinar a massa túrgica (MT), então seguida coloca-se os discos em saco de papel e seca em estufa (75°C) por 48h e posteriormente determinar a massa seca dos segmentos (MS). O cálculo de conteúdo relativo de água (C.R.A) usando a relação descrita por Cairo (1995).

$$CRA = \frac{MF}{MT} - \frac{MS}{MS} \times 100$$

#### 10.7.3 Teor de umidade (%UM)

O teor de umidade em porcentagem é feito pela diferença da Massa fresca da planta e a Massa seca da planta dividido pela massa fresca, multiplicado por cem.

$$\%UM = \frac{MF - MS}{MF} \times 100$$

## 10.8 Determinações dos solutos inorgânicos

### 10.8.1 Relação $Na^+/Ca^{2+} + K^+$

Para determinar os nutrientes cálcio, potássio e sódio foi utilizado o fotômetro de chama. A fotometria de chama permite determinar a concentração de sais específicos em soluções. O método da espectrometria de emissão de chama (EEC), resumidamente consiste em obter valores numéricos que correspondam á intensidade da luz emitida pelo íon, o que conseqüentemente é proporcional á concentração do íon na solução. Vale ressaltar que essa excitação eletrônica é proporcionada pela energia da chama e que cada íon, emite um comprimento de onda específico. Para a extração foram pesados 1g da amostra seca e colocadas em tubos de ensaio de 12ml com tampa, e completado para o volume de 10ml de água destilada, em seguida as amostras foram para o banho maria á uma temperatura de 80°C por 1h. Após o resfriamento das amostras em temperatura ambiente as amostras foram diluídas novamente em 100µl para 10 ml de água destilada.

Para a padronização das amostras foram utilizados nitrato de cálcio p.a, cloreto de potássio p.a e cloreto de sódio p.a., com concentrações de 0ppm a 100ppm. Após a padronização e calibração do equipamento foram feitas as leituras das amostras do experimento. Foi anotado o valor da leitura dos extratos e procedido os cálculos para encontrar a concentração de cálcio, potássio e sódio nas amostras preparado (VOGEL, 1981) adaptado.

## 10.9 Análises estatísticas

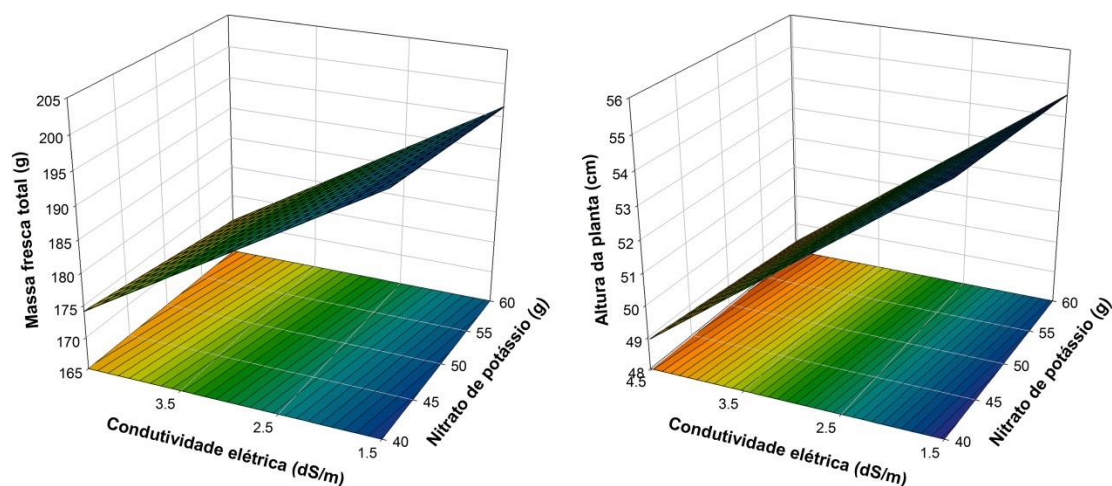
Os dados inicialmente foram submetidos ao teste de normalidade (Scott knott) e homogeneidade (Levene) respectivamente, em seguida foi feito (teste F a 5% de probabilidade). Os fatores quantitativos relativos aos níveis de salinidade e adubação foram analisados estatisticamente por meio de regressão linear ou quadrática, enquanto que os fatores qualitativos através de teste para comparação de médias, com base no teste de Tukey a

5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Software Sisvar e para a construção dos gráficos foram no programa SigmaPlot 12.0.

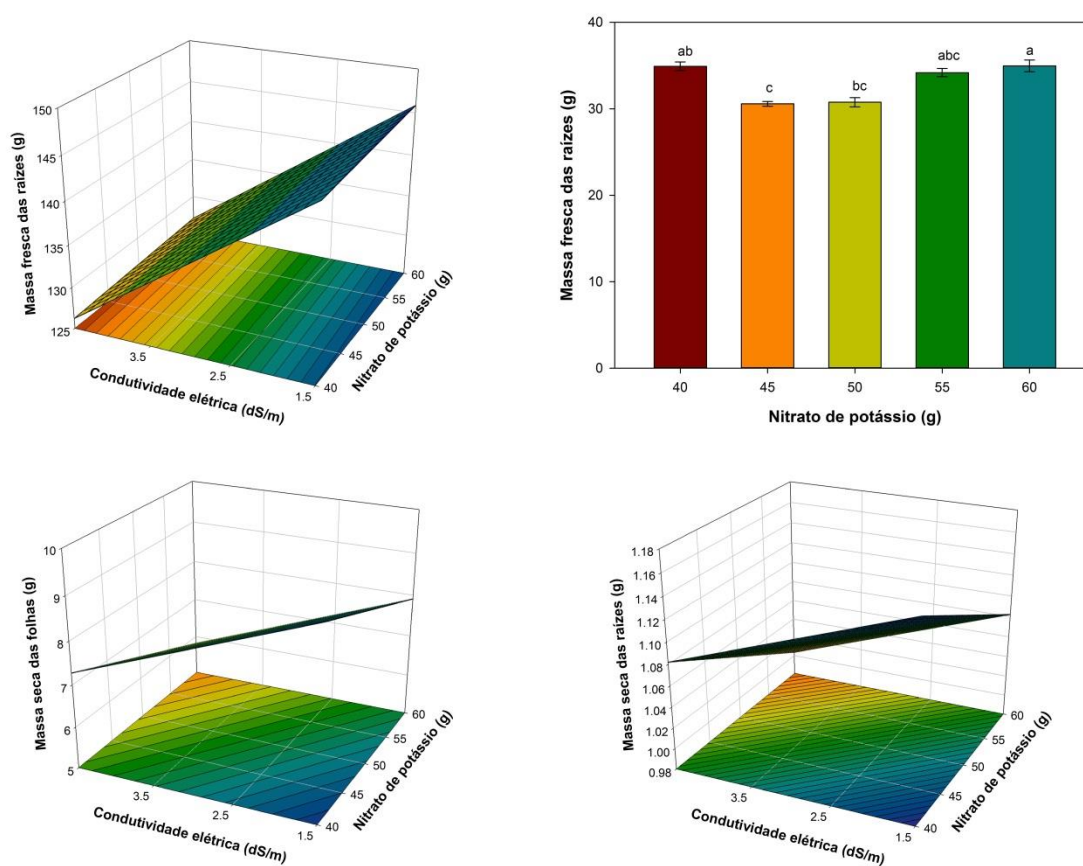
## 11. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 11.1 Indicadores de crescimento

As variáveis massa fresca total (MFT) e altura das plantas (ALT), apresentaram interação entre os fatores e comportamento semelhante na distribuição espacial dos gráficos. As melhores médias estão na relação de 40g de  $\text{KNO}_3$  e 1,5 dS/m. Mostrando assim a eficácia de uma adubação que com menos nutrientes tem efeitos significativo positivo sobre o cultivo de alface hidropônico. O  $\text{K}^+$  tem função de expansão celular (MARSCHNER, 1995), isso explica o comportamento gradual linear dos gráficos em relação as doses de potássio, não havendo efeitos tóxicos e nem efeitos de nutricionais nas plantas. Em relação as condutividades elétricas houve efeito gradual linear negativo a medida que a condutividade elétrica aumentava, esse resultado está relacionado com o desequilíbrio nutricional que o  $\text{Na}^+$  provoca em altas doses provocando a menor absorção de cátions como  $\text{K}^+$  (SILVA, 2014).



**Figura 14.** Gráficos de superfície de resposta para massa fresca total (MFT) e altura das plantas (ALT).



**Figura 15.** Gráficos de superfície respostas para as variáveis: massa fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das raízes (MSR), e gráfico de barras para a variável massa fresca das raízes (MFR).

**Tabela 9.** Análise de variância para massa fresca das raízes (MFR).

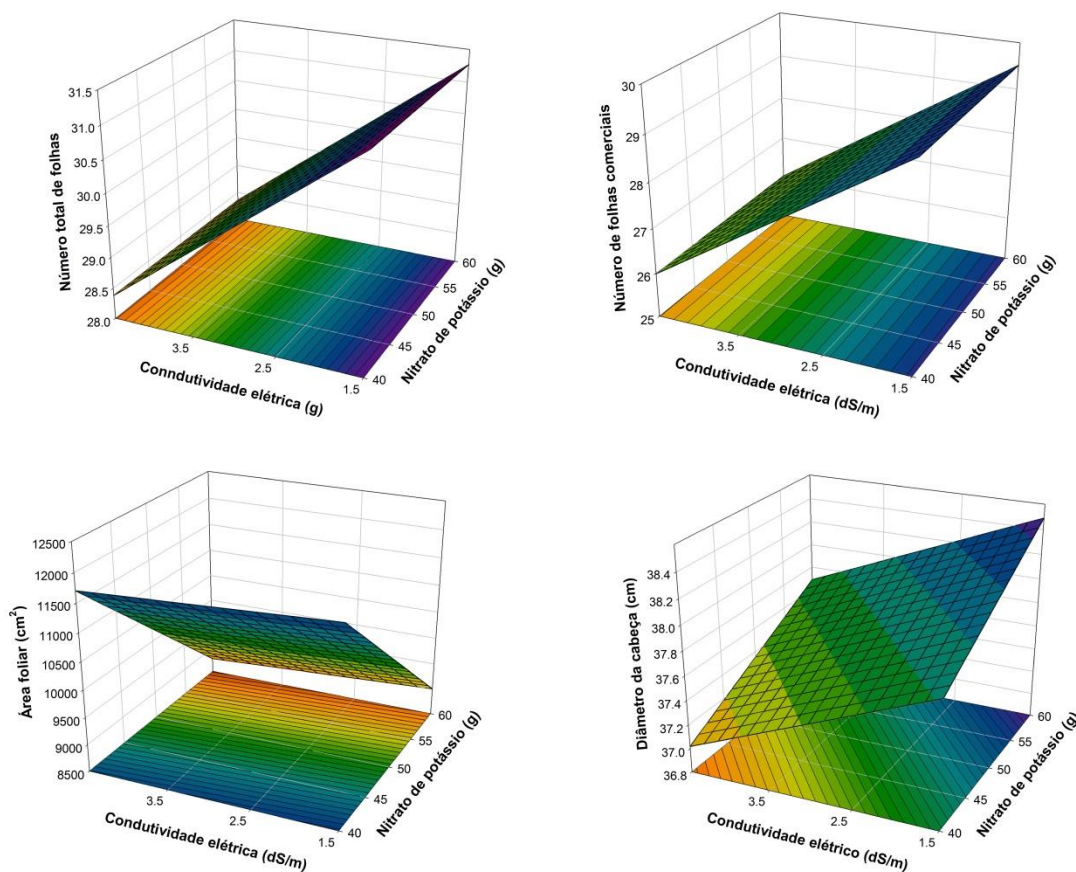
Doses de Nitrato de cálcio (g)	MFR
	g
Ca1	34,918750 ab
Ca2	30,575 c
Ca3	30,7625 bc
Ca4	34,181250 bc
Ca5	34,9625 a
DMS	4,1865
CV (%)	12,72 %

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

(Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade). A massa seca das folhas (MSF) e a massa seca das raízes (MSR) tiveram o mesmo comportamento de maior interação entre a dose de 40g de  $\text{KNO}_3$  e a condutividade elétrica de 1,5dS/m, e menores médias na dose máxima de 60g e condutividade elétrica de 4,5dS/m. O aumento da concentração do  $\text{K}^+$  na plantas não efeitos tóxicos nas plantas, o aumento do potássio mitigou os efeitos dos sais, dentre as suas funções a regulação osmótica e a regulação da abertura e fechamento dos estômatos tem efeito significativo na produção da matéria seca das plantas.

A massa fresca das folhas teve interação entre os fatores e de forma linear positiva a medida que a salinidade aumentou a massa fresca das folhas diminuía, a presença de altas concentrações de  $\text{Na}^+$  diminui a absorção e concentração do  $\text{K}^+$  (FERNÁNDEZ et al., 2016). A massa fresca das raízes (MFR) teve efeito significativo às doses de potássio, com maior média na dose de 60g de  $\text{KNO}_3$ , mitigando os efeitos deletérios dos  $\text{Na}^+$ .

**Figura 16.** Gráficos de superfície resposta para as variáveis: número total de folhas (NTF), número de folhas comerciais (NFC), área foliar (AF) e diâmetro da cabeça (DC).



**Figura 17.** Gráficos de superfície resposta para as variáveis número total de folhas (NTF), número de folhas comerciais (NFC), área foliar (AF) e diâmetro da cabeça (DC).

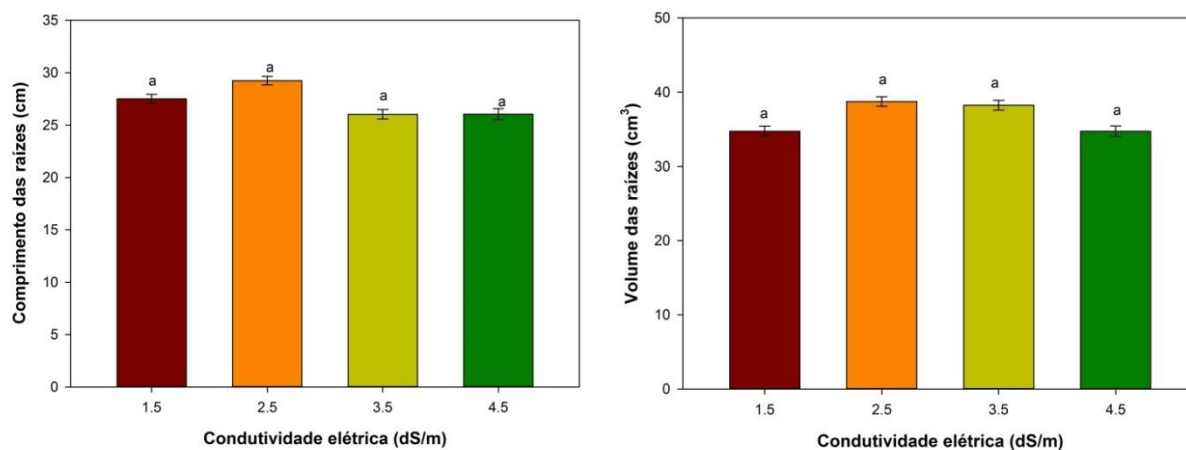
O número total de folhas (NTF) e o número de folhas comerciais (NFC) obtiveram efeitos significativos na interação entre os fatores e com comportamento semelhante. As maiores médias foram na dose de 40g e condutividade elétrica de 1,5dS/m, contudo as demais doses não apresentaram efeitos negativos para a condutividade de 1,5dS/m, mas efeito deletério a medida que a condutividade elétrica aumentava, mostrando que a presença de  $\text{Na}^+$  diminui os efeitos positivos do  $\text{K}^+$  nas células.

A área foliar (AF) foi maior na dose de 40g de  $\text{KNO}_3$  em todas as condutividades elétricas, diminuindo sua área foliar à medida que as doses de nitrato de potássio aumentava nas doses de (45g; 50g; 55g e 60g). O diâmetro da cabeça teve comportamento distinto dos demais parâmetros, havendo melhor média na dose de 90g e melhor condutividade na condutividade de 1,5dS/m.

**Tabela 10.** Equações e  $R^2$  dos gráficos

$ALT = 59,5962 - 0,0297 * X - 2,0975 * Y$	$R^2 = 1$
$MFT = 220,3235 - 0,1804 * X - 8,6622 * Y$	$R^2 = 0,70$
$MFF = 152,8379 + 0,0409 * X - 6,2820 * Y$	$R^2 = 0,82$
$MSF = 13,3292 - 0,0729 * X - 0,6974 * Y$	$R^2 = 0,45$
$MSR = 1,3559 - 0,0039 * X - 0,0261 * Y$	$R^2 = 0,94$
$NFT = 32,795 - 0,0012 * X - 0,9700 * Y$	$R^2 = 0,60$
$NFC = 31,1050 + 0,0025 * X - 1,1600 * Y$	$R^2 = 1$
$AF = 17915,2005 - 146,5495 * X - 77,0579 * Y$	$R^2 = 0,70$
$DC = 36,8972 + 0,0333 * X - 0,2690 * Y$	$R^2 = 0,80$

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.



**Figura 18.** Comprimento das raízes (CR), volume das raízes (VR) em relação as condutividades elétricas. (Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

**Tabela 11.** Tabela de análise de variância com as médias do comprimento das raízes (CR) e volume das raízes (VR).

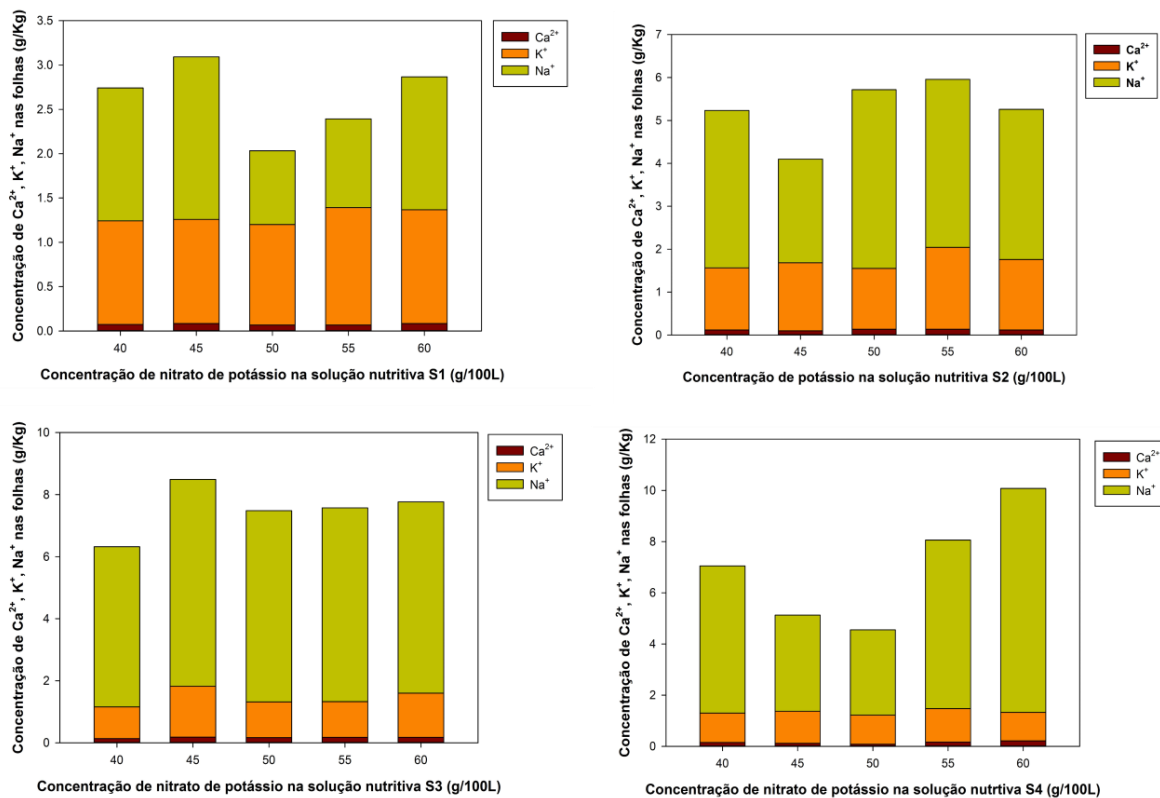
Conductividade elétrica (dS/m)	CR	VR
	cm	mm <sup>3</sup>
S1	27,51 a	34,75 a
S2	29,245 a	38,75 a
S3	26,04 a	38,25 a
S4	26,055 a	34,75 a
DMS	3,3297	4,7499
CV (%)	14,64	15,52

(Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade).

As variáveis relacionadas á comprimento das raízes (CR) e volume das raízes não tiveram efeito significativo, mas não diferiram entre si. Apresentando maior média na condutividade elétrica de 2,5dS/m. Em condições salinas a semelhança iônica dos cátions Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> (SOARES et al. 2016).



## 11.2 Indicadores nutricionais



**Figura 19.** Gráficos de barras da relação da concentração de cálcio, potássio e sódio nas folhas com a concentração de nitrato de potássio nas soluções nutritivas S1, S2, S3 e S4.

A proporção de nutrientes encontrados nas plantas é um fator importante no estudo na nutrição de plantas. Os gráficos (S1, S2, S3 e S4) mostram as proporções de Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> nas folhas em relação a concentrações de nitrato de potássio nas soluções nutritivas, pode-se observar um decréscimo nas concentrações de K<sup>+</sup> à medida que a quantidade de Na<sup>+</sup> aumenta na solução nutritiva. Já a absorção de cálcio manteve-se proporcional em todos os tratamentos, havendo diminuição a medida que a concentração de potássio aumentava. Seu excesso causa a diminuição da absorção de cálcio e magnésio nas plantas (PRADO, 2008)

## 11.3 Indicadores de estresse

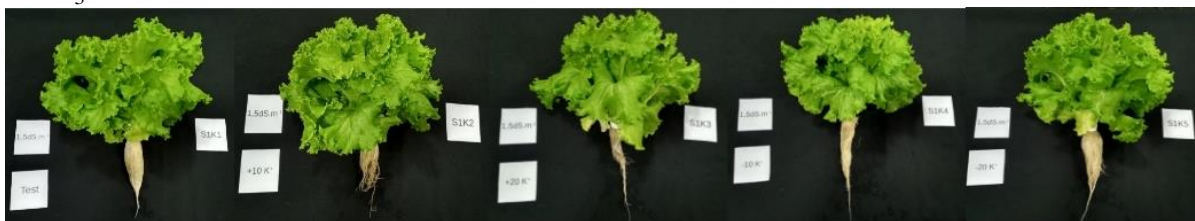
**Tabela 12.** Análise de variância para as variáveis: conteúdo relativo de água (CRA), umidade (UM%) e danos de membrana (DM).

FV	GL	QM
<b>CRA</b>		
Potássio	4	67,7696 <sup>ns</sup>
CE	3	107,7002 <sup>ns</sup>
Potássio x CE	12	47,1360 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	46,3706 <sup>ns</sup>
CV (%)		7,80%
<b>UM</b>		
Potássio	4	57,8362 <sup>ns</sup>
CE	3	113,7721 <sup>ns</sup>
Potássio x CE	12	65,49552 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	40,72 <sup>ns</sup>
CV(%)		7,75%
<b>DM</b>		
Potássio	4	101,6123 <sup>n</sup>
CE	3	166,5349 <sup>ns</sup>
Potássio x CE	12	68,8777 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	42,1101 <sup>ns</sup>
CV(%)		17,11%

(\*) significativo (P<0,05); ( ns) não-significativo.

Não houve diferença significativa nas variáveis CRA, UM, DM, nem interação entre os fatores estudados, mostrando que havendo diminuição e/ou aumento das doses de nitrato de cálcio não houve interferência na osmorregulação das células. Sendo esses parâmetros fundamentais para encontrar o equilíbrio iônico nas plantas e na solução nutritiva. A presença do potássio mostrou-se um elemento essencial no equilíbrio das trocas iônicas no citosol das células.

**Figura 20.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica de 1,5dS/m x doses de  $\text{KNO}_3$



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 21.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica de 2,5dS/m x doses de  $\text{KNO}_3$ .



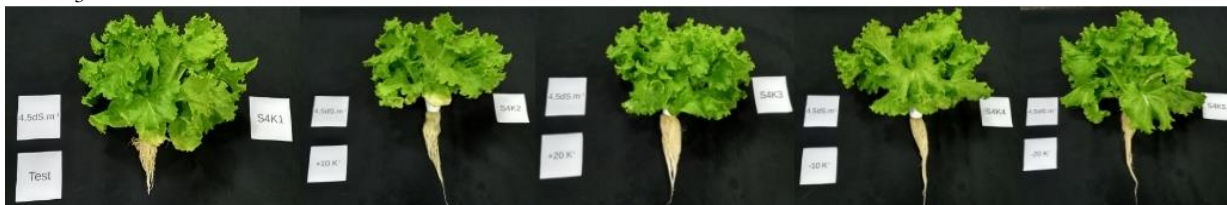
Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 22.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica de 3,5dS/m x doses de  $\text{KNO}_3$ .



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 23.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 4,5dS/m x doses de  $\text{KNO}_3$ .



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

## 12. CONCLUSÃO

- A redução de 20% de potássio na solução nutritiva proporcionou plantas com maiores médias morfológicas;
- O potássio teve função de regulador osmótico nas plantas atenuando os efeitos dos sais nas plantas até a faixa de 2,5 dS/m.
- Os aumentos das concentrações de potássio diminuíram a absorção de cálcio.

### **13. CAPÍTULO IV – INTRODUÇÃO - BALANÇO NUTRICIONAL NA SOLUÇÃO NUTRITIVA EM CULTIVO HIDROPÔNICO SUBMETIDAS A CONDIÇÕES SALINAS.**

As altas concentrações de sais nas águas de irrigação juntamente com as concentrações de sais na solução nutritiva são questões importantes nos estudos sobre nutrição de plantas e sobre cultivo hidropônico no semiárido brasileiro. López et al. (2014) em seus estudos comprovaram que altas concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas águas de irrigação prejudicam a absorção de íons como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nas plantas. Também uma formulação com excesso de nutrientes na solução nutritiva provoca distúrbios consideráveis, em que, o antagonismo entre nutrientes importantes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) acontece (PRADO, 2008).

Essa alta concentração de sais diminui o potencial osmótico, prejudica a morfologia e retarda processos bioquímicos das plantas (AMORIM et al., 2002). A busca por soluções equilibradas vem sendo estudada há muitos anos por diversos pesquisadores, sempre no âmbito de atender a necessidade das plantas e sua maior produtividade.

Paulus et al (2012) em seus estudos com salinidade observaram que o  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  são os principais sais prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, e o cálcio, potássio são nutrientes que minimizam seus efeitos. O aumento na concentração de  $\text{Na}^+$  nos tecidos das plantas implica na absorção e translocação de  $\text{K}^+$ , que por sua vez ocorre antagonismo com  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . (PAULUS, 2010). Nas proporções corretas os nutrientes têm suas funções distintas e sem efeito antagonista entre eles. O cálcio tem função na integridade da membrana, estabilidade na parede celular, atuando na seletividade de íons pela membrana plasmática, entre outras funções (SUN et al., 2010). Já o potássio tem alta mobilidade na planta e desempenha papel fundamental na regulação osmótica nas plantas, ativador enzimático, e funções relacionadas à fotossíntese e a respiração (HOPKINS, 1995).

Tendo em vista as funcionalidades dos nutrientes e seu comportamento diante de entraves edafoclimáticos e condições de estresse para as plantas, o estudo de da nutrição de plantas torna-se essencial para entendermos mais sobre os processos de adaptações e desenvolvimento das plantas. Esse estudo nutricional alinhado a técnicas de manejo como a hidroponia podem trazer benefícios para os agricultores que buscam formas de produzir alimentos com condições não favoráveis para a planta expressar seu máximo de desempenho e produção.

O objetivo desse trabalho é encontrar um equilíbrio químico na solução nutritiva, afim de mitigar os efeitos dos sais presentes na água, e aumentar a produtividade da alface em sistema hidropônico na região semiárida nordestina.

## 14. MATERIAL E MÉTODOS

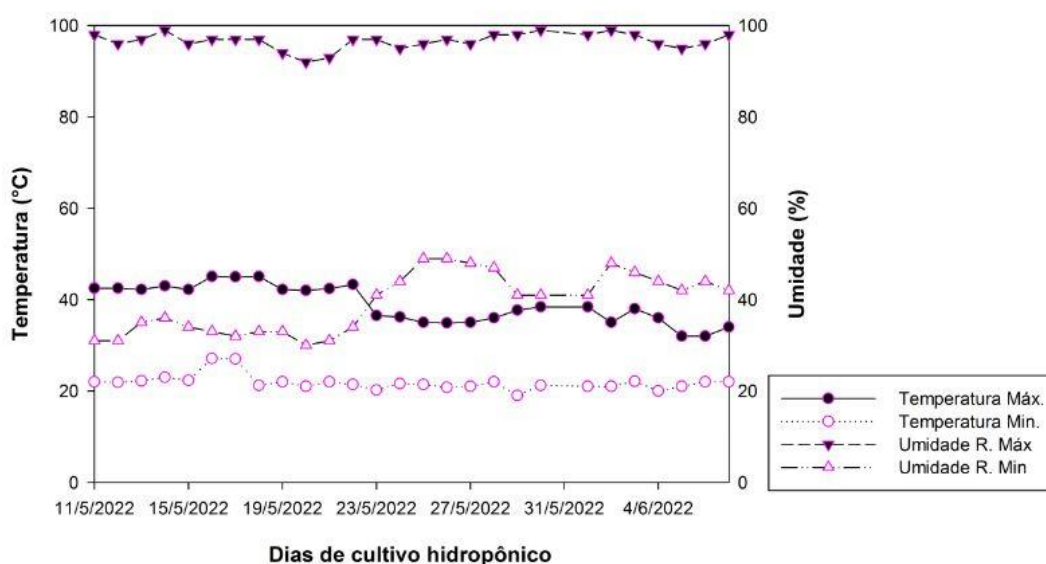
### 14.1 Descrição do experimento

O terceiro experimento da pesquisa foi a interação da salinidade com doses de Cálcio e Potássio combinadas, avaliando as doses mais expressivas de Cálcio do experimento I e Potássio do experimento II.

### 14.2 Caracterização do local da pesquisa

O trabalho foi realizado em viveiro com dimensões 12mx30m no Setor Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e no Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV) como mostra a figura 35, localizado no município de Catolé do Rocha (PB). A cidade está situada a 6° 21" de latitude S e 37° 48" de longitude O, a uma altitude de 272 m (Figura 25). O clima da região é 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.

**Figura 24.** Dados de acompanhamento de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da estufa no 5° ciclo, no período de 11/05/2022 a 11/06/2022.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

### 14.3 Delineamentos experimentais

Para o experimento III com variações da salinidade com a interação de cálcio+potássio foi usado o Delineamento de Inteiramente Casualizados (DIC) com esquema fatorial 4x2x2, correspondendo a quatro tratamentos salinos (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5dS/m), duas combinações de Cálcio(75 e 60g/100L) com duas combinações de potássio (50 e 40g/L) com seis repetições, perfazendo um total de 96 unidades experimentais.

### 14.4 Formulações das soluções nutritivas para o cultivo da alface

Para a formulação das soluções nutritivas dos experimentos foi utilizada como base e dose controle a solução nutritiva descrita por Furlani (1999) como mostra o tabela 18, Para a formulação das soluções nutritivas do experimento III foi usada como caráter avaliativo as doses de Cálcio e Potássio que melhor se expressaram nos experimentos I e II, descritas na tabela 19.

**Tabela 13.** Fontes e doses da solução nutritiva de Furlani

<b>Adubo ou Sal</b>	<b>g/1000 L</b>
Nitrato de cálcio	750,00
Nitrato de potássio	500,00
Fosfato monoamônico	150,00
Sulfato de magnésio	400,00
Ácido bórico	1,50
Sulfato de manganês	1,31
Sulfato de zinco	0,50
Sulfato de cobre	0,15
Molibdato de sódio	0,17
Cloreto férrico	13,00
EDTA- dissódico	17,00

**Fonte:** Furlani (1999)



**Tabela 14.** Valores das condutividades elétricas e das doses de Cálcio + Potássio do experimento III

<b>Tratamentos</b>	<b>CE (dS/m)</b>	<b>K<sup>+</sup> (g/100L)</b>
S1Ca1K1	1,5	125
S1Ca1K2	1,5	115
S1Ca2K1	1,5	110
S1Ca2K2	1,5	100
S2Ca1K1	2,5	125
S2Ca1K2	2,5	115
S2Ca2K1	2,5	110
S2Ca2K2	2,5	100
S3Ca1K1	3,5	125
S3Ca1K2	3,5	115
S3Ca2K1	3,5	110
S3Ca2K2	3,5	100
S4Ca1K1	4,5	125
S4Ca1K2	4,5	115
S4Ca2K1	4,5	110
S4Ca2K2	4,5	100

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

## 14.5 Preparo das soluções nutritivas

### 14.5.1 Preparo das águas salinas simuladas

As águas salinas simuladas foram preparadas com a suplementação de NaCl em água destilada até atingirem a condutividade elétrica pré-determinada (S2, S3 e S4), com exceção da solução controle ou testemunha (S1) onde sua condutividade é atingida apenas com os sais presentes em suas fontes minerais, como mostra a tabela 20.

**Tabela 15.** Condutividades elétricas (CE) das águas salinas simuladas e da solução controle

Variável de salinidade	CE das soluções nutritivas	CE das soluções salinas simuladas	CE final
S1	1,5	0	1,5
S2	1,5	1	2,5
S3	1,5	2	3,5
S4	1,5	3	4,5

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

#### 14.6 Indicadores de crescimento

A massa fresca (MF) foi feita com a pesagem do material segundos depois de fazer a colheita, com unidade de medida em gramas (g) na balança de precisão. A altura das plantas (AP) será medida do colo da planta até o ápice da última folha desenvolvida; a determinação do número total de folhas (NTF) será feita pelo número total de folhas obtidas pela contagem direta, enquanto o número comercial de folhas (NCF) será obtido através da contagem direta de folhas sem danos visuais. O diâmetro da cabeça (DC) será mensurado com uma trena de uma extremidade a outra da planta correspondendo ao diâmetro de uma circunferência. O comprimento e diâmetro do caule serão obtidos através da retirada de todas as folhas das plantas avaliadas, as quais serão medidas posteriormente através da utilização do paquímetro, na determinação do diâmetro do caule será tomada uma medida aproximadamente perpendicular ao caule avaliado. O volume da raiz (VR) foi obtido pelo deslocamento da coluna de água na proveta (SANTANA et al., 2003), onde coloca-se um volume de 500ml de água na proveta de 1000ml e logo após introduz a raiz, observando o movimento da coluna de água em ml, que corresponderá ao volume da raiz com unidade de medida em mm<sup>3</sup>. O comprimento da raiz (CR) será determinado medindo-se do colo da planta até a extremidade inferior da raiz, utilizando uma régua graduada com unidade de medida em cm. Após a pesagem da massa fresca e as demais análises de crescimento as partes da planta (folhas, caule e raiz) serão embaladas em sacos de papel e em seguida colocadas em estufa com circulação ar a 65°C por 96 horas até peso constante. Após este período, pesou-se para a determinação de massa seca (MS) por planta, com unidade de medida em gramas (g) na balança de precisão.

## 14.7 Variáveis relacionadas ao estresse salino

### 14.7.1 Danos de membrana (DM)

A percentagem de danos na membrana se baseia em avaliar indiretamente os danos, nas membranas, causados pelo tratamento. As folhas e raízes são lavadas 3x em água destilada-deionizada, e são retirados 30 discos das folhas e 10 segmentos de raízes laterais de plantas adultas. Em seguida o material transferido para tubos com tampa contendo 10ml de H<sub>2</sub>Odd e deixar em repouso por no mínimo 6 horas a 25°C sob agitação ocasional, transferir o "extrato" para outros tubos e proceder leitura de condutividade a 25°C retornar o "extrato" para os tubos e contém as amostras e realizar fervura a 100°C por 60 minutos colocar para resfriar a temperatura ambiente até retornar a 25°C e realizar nova leitura de condutividade, o resultado será expresso em % de danos de membrana:

$$\%DM = \frac{C1}{C2} \times 100$$

Onde: %DM = percentual de danos de membrana

C1 = condutividade inicial

C2 = condutividade final

### 14.7.2 Conteúdo relativo de água (CRA)

É feita a coleta material e logo são retirados 300mg de discos foliares de 1cm de diâmetro (para plantas adultas); 300mg de segmentos de 5cm de raízes laterais (para plantas adultas); 6 folhas (para plântulas pequenas); 3 segmentos de cm da região basal da raiz (para plântulas pequenas). Em seguida determina imediatamente o peso fresco em balança semi-analítica (MF). O material é transferido para a placa de petri deixando na bancada (25°C) por um período mínimo de 6h, após isso é colocado em papel toalha para retirar o excesso de água e pesa-se para determinar a massa túrgica (MT), então seguida coloca-se os discos em saco de papel e seca em estufa (75°C) por 48h e posteriormente determinar a massa seca dos segmentos (MS). O cálculo de conteúdo relativo de água (C.R.A) usando a relação descrita por Cairo (1995).

$$CRA = \frac{MF}{MT} - \frac{MS}{MS} \times 100$$

### 14.7.3 Teor de umidade (%UM)

O teor de umidade em porcentagem é feito pela diferença da Massa fresca da planta e a Massa seca da planta dividido pela massa fresca, multiplicado por cem.

$$\%UM = \frac{MF - MS}{MF} \times 100$$

## 14.8. Determinações de solutos inorgânicos

### 14.8.1 Relação $Na^+/Ca^{2+} + K^+$

Para determinar os nutrientes cálcio, potássio e sódio foi utilizado o fotômetro de chama. A fotometria de chama permite determinar a concentração de sais específicos em soluções. O método da espectrometria de emissão de chama (EEC), resumidamente consiste em obter valores numéricos que correspondam à intensidade da luz emitida pelo íon, o que conseqüentemente é proporcional à concentração do íon na solução. Vale ressaltar que essa excitação eletrônica é proporcionada pela energia da chama e que cada íon, emite um comprimento de onda específico. Para a extração foram pesados 1g da amostra seca e colocadas em tubos de ensaio de 12ml com tampa, e completado para o volume de 10ml de água destilada, em seguida as amostras foram para o banho maria á uma temperatura de 80°C por 1h. Após o resfriamento das amostras em temperatura ambiente as amostras foram diluídas novamente em 100µl para 10 ml de água destilada.

Para a padronização das amostras foram utilizados nitrato de cálcio p.a, cloreto de potássio p.a e cloreto de sódio p.a., com concentrações de 0ppm a 100ppm. Após a padronização e calibração do equipamento foram feitas as leituras das amostras do experimento. Foi anotado o valor da leitura dos extratos e procedido os cálculos para encontrar a concentração de cálcio, potássio e sódio nas amostras preparado (VOGEL, 1981) adaptado.

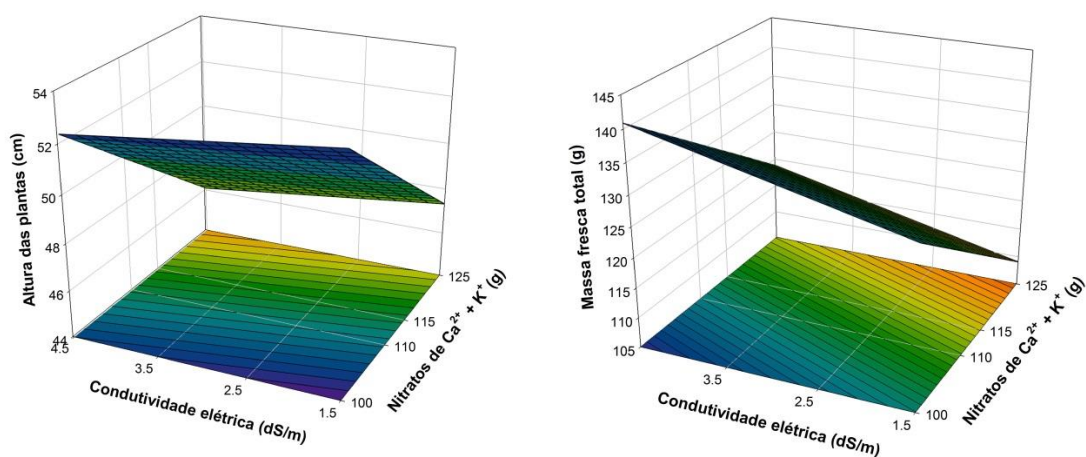
## 14.9 Análises estatísticas

Os dados inicialmente foram submetidos ao teste de normalidade (Scott knott) e homogeneidade (Levene) respectivamente, em seguida foi feito (teste F a 5% de probabilidade). Os fatores quantitativos relativos aos níveis de salinidade e adubação foram analisados estatisticamente por meio de regressão linear ou quadrática, enquanto que os fatores qualitativos através de teste para comparação de médias, com base no teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Software Sisvar e para a construção dos gráficos foram no programa SigmaPlot 12.0.

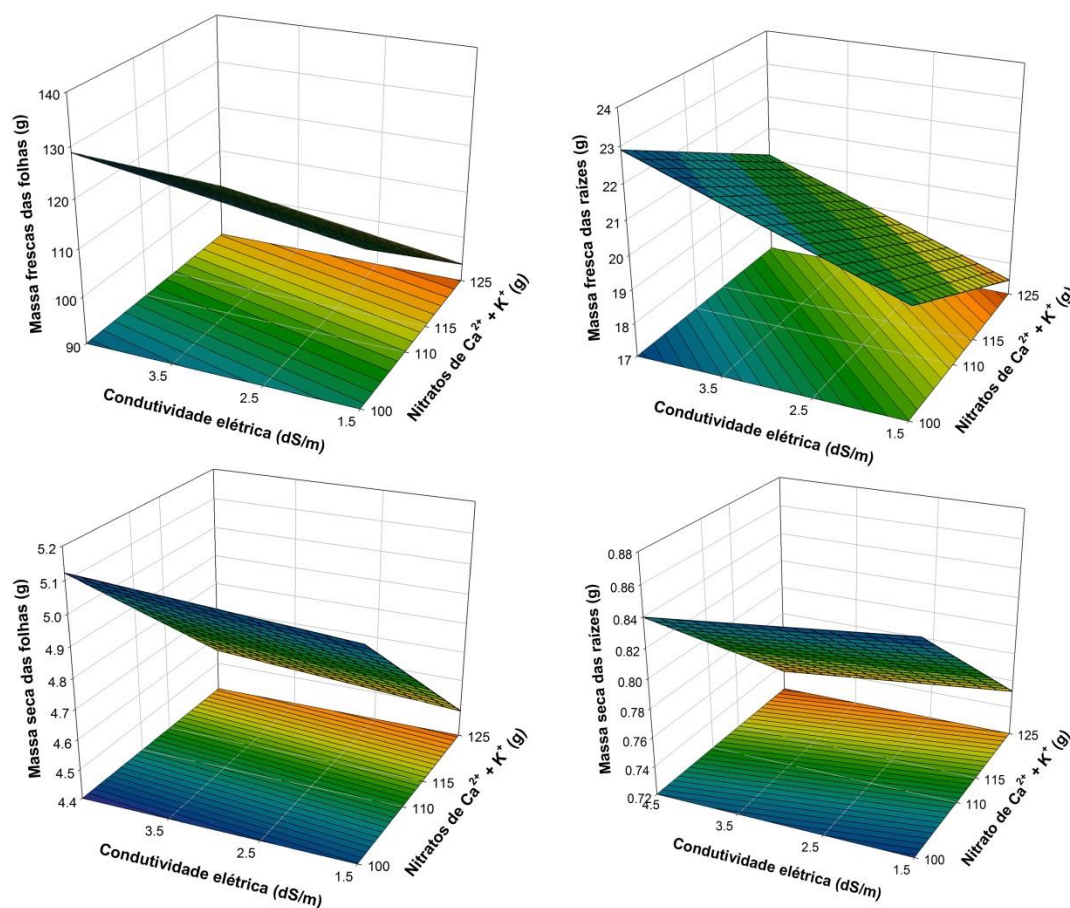
## 15. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 15.1 Indicadores de crescimento

As variáveis massa fresca total (MFT) teve interação entre os fatores com maior média na concentração de 100g de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$  e condutividade elétrica 4,5 dS/m . Com decréscimo na MFT com o aumento da concentração de dos cátions, havendo uma baixa diminuição nas condutividades elétricas. A altura das plantas (ALT) teve maior média na concentração de 100g  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$  e condutividade elétrica de 1,5dS/m e menor média na concentração de 125g de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$ . O acúmulo de  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$  permitiu que a planta tivesse menor taxa de transpiração e acúmulo de nutrientes em seus tecidos.



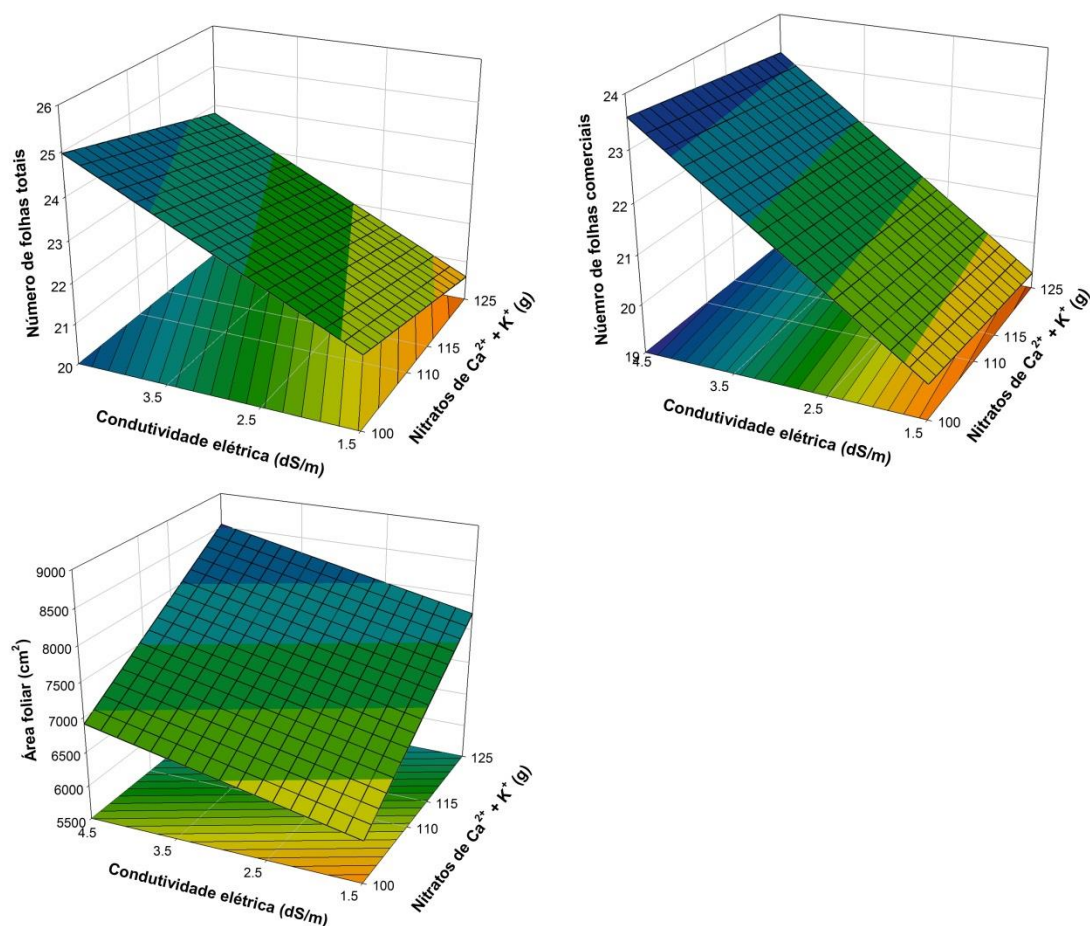
**Figura 25.** Gráfico de superfície resposta para as variáveis Massa fresca total (MFT) e altura das plantas (ALT).



**Figura 26.** Gráficos de superfície resposta para as variáveis massa fresca das folhas (MFF), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das raízes (MSR) e massa secas das folhas (MSF).

A massa fresca das folhas obteve interação com maior média na condutividade elétrica de 4,5 dS/m e na concentração de 100g de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$ , assim como a massa fresca das raízes tiveram o mesmo comportamento, esses efeitos podem ser devido ao componente osmótico e/ou componente iônico do estresse salino (ZENG et al., 2015).

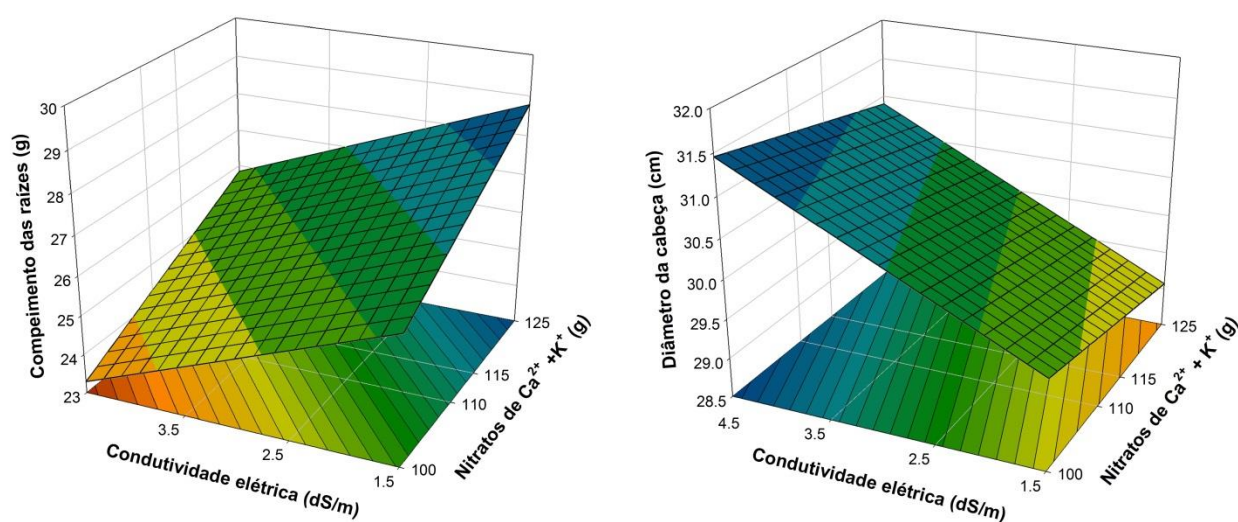
A massa seca das folhas (MSF) e a massa seca das raízes (MSR) apresentaram o mesmo comportamento em que, o  $\text{Na}^+$  não interferiu na biomassa das plantas havendo decréscimo a medida que a concentração de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$  aumenta.



**Figura 27.** Gráficos de superfície resposta para as variáveis número: de folhas totais (NFT), número de folhas comerciais (NFC) e área foliar (AF).

O número de folhas totais (NFT) e o número de folhas comerciais (NFC) foi bastante influenciado pelo  $\text{Na}^+$ , que apresentou maiores médias na condutividade 4,5dS/m, em relação a concentração de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$  eu teve menor média na concentração de 125g. A área foliar (AF) teve comportamento inverso ao número de folhas, com folhas menores na dose de 100g, contudo a melhor condutividade elétrica foi a de 4,5dS/m. Estudos mostram como o acúmulo de  $\text{Na}^+$  nos tecidos de algumas plantas mostram números positivos no desenvolvimento das plantas.





**Figura 28.** Gráfico de superfície resposta para as variáveis: comprimento das raízes (CR) e diâmetro da cabeça (DC).

As variáveis comprimento das raízes (CR) e diâmetro da cabeça (DC) apresentaram interação entre os fatores. O CR teve maior média na condutividade de 1,5dS/m e melhor desenvolvimento na concentração de 125g de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$ . O diâmetro da cabeça teve resultado contrário ao CR, havendo maior diâmetro em baixas concentrações de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$  e na condutividade elétrica de 4,5dS/m. O acúmulo de  $\text{Na}^+$  nas raízes acarretou numa maior absorção de cálcio e potássio da solução nutritiva.

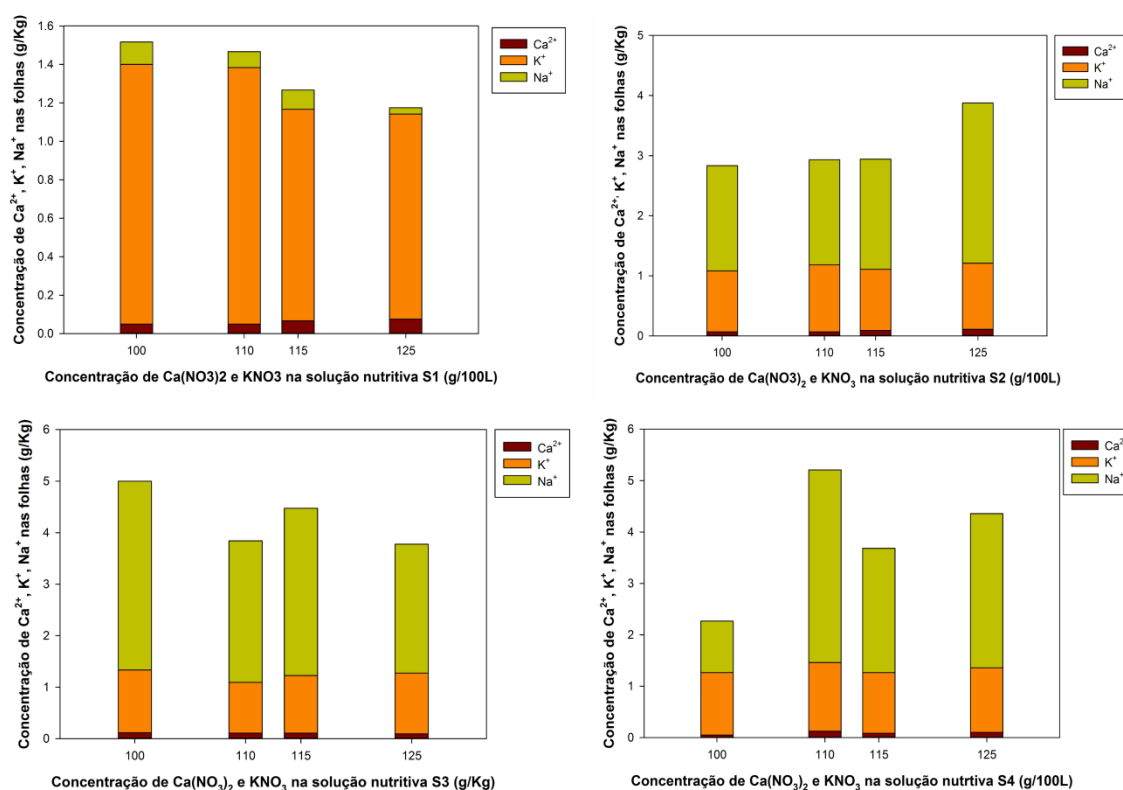
**Tabela 16.** Equações e R2 dos gráficos

$\text{ALT} = 79,4042 - 0,2518 * X - 0,4081 * Y$	$R^2 = 1$
$\text{MFT} = 214,2678 - 0,8808 * X + 3,2625 * Y$	$R^2 = 0,60$
$\text{MFF} = 225,6024 - 1,0856 * X + 2,6125 * Y$	$R^2 = 0,91$
$\text{MFR} = 29,8764 - 0,1101 * X + 0,8938 * Y$	$R^2 = 0,98$
$\text{MSF} = 13,3292 - 0,0729 * X - 0,6973 * Y$	$R^2 = 0,56$
$\text{MSR} = 1,2888 - 0,0042 * X - 0,0060 * Y$	$R^2 = 0,67$
$\text{NFT} = 24,8942 - 0,0471 * X + 1,0625 * Y$	$R^2 = 0,98$
$\text{NFC} = 19,2486 - 0,0149 * X + 1,2937 * Y$	$R^2 = 0,99$
$\text{AF} = -811,5652 + 65,1593 * X + 267,5317 * Y$	$R^2 = 0,60$
$\text{DC} = 30,9655 - 0,0225 * X + 0,6081 * Y$	$R^2 = 0,63$

$CC = 97,4202 - 0,3020 * X + 1,5844 * Y$	$R^2 = 1$
$CR = 17,5120 + 0,1019 * X - 0,9817 * Y$	$R^2 = 0,70$
$VR = 20,6154 - 0,0889 * X + 2,8437 * Y$	$R^2 = 0,99$

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

## 15.2 Indicadores nutricionais



**Figura 29.** Gráfico de barras da relação da concentração de cálcio, potássio e sódio nas folhas com a concentração de nitrato de cálcio e nitrato de potássio nas soluções Nutritivas S1, S2, S3 e S4.

A absorção dos nutrientes teve comportamentos distintos entre as condutividades elétricas das soluções (S1, S2, S3 e S4). Na solução S1 a baixa presença de ausência de Na<sup>+</sup> proporcionou uma absorção de K<sup>+</sup> de forma que houve a inibição do cálcio que teve baixas concentrações em comparação com experimentos isolados. Nos demais tratamentos houve maior absorção do Na<sup>+</sup>, apresentando melhores proporções de cátions na condutividade de S2 (2,5dS/m), onde o K<sup>+</sup> desempenhou o papel de regulador osmótico (ASHRAF & FOOLAD, 2007; MUNNS & TESTER, 2008).

## 15.3 Indicadores de estresse

**Tabela 17.** Análise de variância para as variáveis conteúdo relativo de água (CRA), umidade (UM%) e danos de membrana (DM).

FV	GL	QM
<b>CRA</b>		
Ca+K	4	172,7795 <sup>ns</sup>
CE	3	840,3237 <sup>ns</sup>
Ca x K x CE	12	463,4620 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	207,466 <sup>ns</sup>
CV (%)		13,09%
<b>UM</b>		
Ca+K	4	146,3572 <sup>ns</sup>
CE	3	770,5910 <sup>ns</sup>
Ca x K x CE	12	381,8576 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	166,4603 <sup>ns</sup>
CV(%)		13,09%
<b>DM</b>		
Ca+k	4	139,4404 <sup>ns</sup>
CE	3	244,8434 <sup>ns</sup>
Cax K x CE	12	256,47 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	254,37 <sup>ns</sup>
CV(%)		38,10%

(\*) significativo (P<0,05); ( ns) não-significativo.

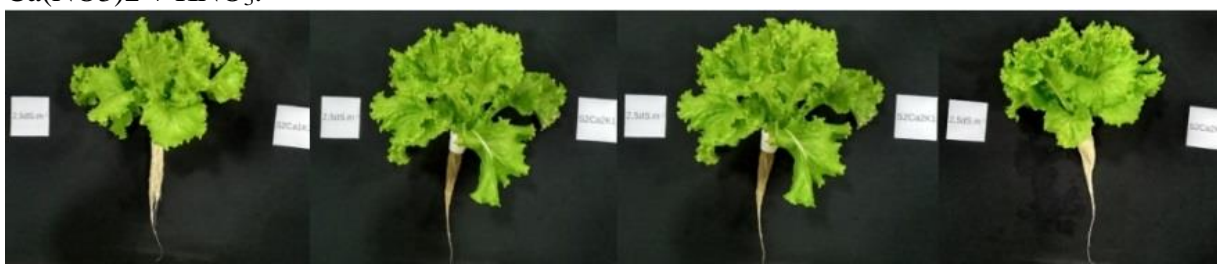
Não houve diferença significativa entre as variáveis CRA, UM, DM, nem interação entre os fatores estudados, mostrando que havendo diminuição e/ou aumento das doses de nitrato de cálcio e nitrato de potássio não houveram interferência na integridade osmótica das células. Sendo esses parâmetros fundamentais para encontrar o equilíbrio iônico e a integridade da parede celular nas plantas e na estabilidade solução nutritiva, o cálcio e o potássio mostraram-se elementos essenciais no equilíbrio das trocas iônicas no citosol com o meio externo salino.

**Figura 30.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 1,5dS/m x doses de  $\text{Ca}(\text{KNO}_3)_2 + \text{KNO}_3$ .



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 31.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 2,5dS/m x doses de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$ .



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 32.** Alfaces hidropônicas cultivadas sob condutividade elétrica 3,5dS/m x doses de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$ .



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 33.** Alfaces hidropônicas cultivados sob condutividade elétrica 4,5dS/m x doses de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$ .



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

## 16. CONCLUSÃO

- A redução de 20% de nitrato de cálcio e 20% de nitrato de potássio proporcionaram as maiores plantas;
- A interação de  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{K}^+$  necessita ser mais estudada, para entender de forma mais detalhada sobre o equilíbrio químico desses nutrientes na planta.
- Os efeitos do  $\text{Na}^+$  foram atenuados com a interação do  $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$  reduzindo a 20% da solução padrão proposta por Furlani.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, I. M. O.; JUNQUEIRA, A. M. R.; PEIXOTO, J. R.; OLIVEIRA, A. R. **Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas*, v. 30 p. 108-118, maio 2010.
- AMORIN, M.C.C.; PORTO, E. R. SILVA JÚNIOR, L. G. A. **Evaporação solar como alternativa de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa.** Disponível em: [http://www.cepis.org.pe/bv\\_saidis/aresiduai/i-007.Pdf](http://www.cepis.org.pe/bv_saidis/aresiduai/i-007.Pdf) > Acesso em 10 jul 2004.
- ANDRIOLO, J.L. et al. **Produtividade de frutos de meloeiro cultivado em substrato com três soluções nutritivas.** *Horticultura Brasileira, Brasília*, v.21, n.3, p.478-481, 2005.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. FAO, Irrigação e Drenagem, 29.
- BATISTA, M. A. V.; VIEIRA, L. A.; SOUZA, J. P.; FREITAS, J. D. B.; BEZERRA NETO, F. **Efeito de diferentes fontes de adubação sobre a produção de alface no município de Iguatu-Ce.** *Revista Caatinga, Mossoró*, v. 25, n. 3, p. 8-11, 2012.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.
- BENOIT, F. Practical guide for simple techniques. Sint-katetyne-waver: european agricultura, Viçosa, v.1, n.13, p.1 – 7, 1992b.
- EGEA-GILABERT, C. **Root adaptation and ion selectivity affects the nutritional value of salt-stressed hydroponically grown baby-leaf *Nasturtium officinale* and *Lactuca sativa*.** *Agricultural and Food Science*, v. 25, n. 4, p. 230-239, 2016.
- EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas.** Trad. Maria Edna Tenório Nunes Londrina: Editora Planta, 86p, 2006.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 3ª edição. Viçosa, UFV. 2008, 421p. 4.
- FURLANI, P.R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia NFT.** *Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas*, Campinas, n. 168, p. 30, 1998.
- FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas.** 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: Acesso em: 1/10/2021.
- FURLANI, P.R. **Hydroponic vegetable production in Brazil.** *Acta Horticultutare, Leuven*, n. 481, p. 777-778, 1999
- FERNÁNDEZ, J. A.; NIÑIROLA, D.; ORSINI, F.; PENNISI, G.; GIANQUINTO, G.; FURLANI PR, SILVEIRA LCP; BOLONHEZI D; FAQUIN V. 1999. **Cultivo hidropônico de plantas.** Campinas: Instituto Agronômico, 52 p. (Boletim técnico, 180)

GRANGEIRO, L. C.; COSTA, K. R.; MEDEIROS, M. A.; SALVIANO, A. M.; NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; OLIVEIRA, S. L. **Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivada em condições do Semiárido**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 24, n. 2, p. 190-194, 2006.

GONDIM, A. R. O.; FLORES, M. E. P.; MARTINEZ, H. E. P.; FONTES, P. C. R.; HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. Embrapa Hortaliças, Brasília – DF, p. 1-7, 2009. (Comunicado técnico, 75).

HOAGLAND DR; ARNON DI. 2006. **The waterculture method for growing plants without soil**. Berkeley, CA: Agric. Exp. Stn., Univ. of California. (Circ. 347)

KOEFENDER, V. N. **Crescimento e absorção de nutrientes em alface cultivada em fluxo laminar da solução**, 1996.85p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

LACERDA, C.F. **Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiros submetidos a estresse salino**. 2000. 163 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

Larcher, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LÓPEZ, U. P., Apodaca, J. M., Petite, A. M. & Rueda, A. M. (2014). **Responses of nutrient dynamics in barley seedlings to the interaction of salinity and carbon dioxide enrichment**. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, 99: 86-99. doi: 10.1016/j.envexpbot.2013.11.004.

MAAS EV, POSS JA, HOFFMAN GJ (1986) **Sensibilidade à salinidade do sorgo em três estágios de crescimento**. *Irrig Sci* 7:1

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Academic Press, London. 1995. 889 p.

MEDEIROS, D. C.; et al. **Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos**. Horticultura Brasileira, v. 25, n. 3, p. 433-436, 2007.

PAULUS, D.; DOURADO NETO, D.; FRIZZONE, J. A.; SOARES, T. M. **Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 28, n. 1, p. 29-35, 2010.

PAULUS, D.; DOURADO NETO, D.; PAULUS, E. **Análise sensorial, teores de nitrato e de nutrientes de alface cultivada em hidroponias em águas salinas**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 30, n. 1, p. 18-25, 2012b.

PEREIRA, P. R. G. **Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT**. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 894-904, 2010.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP. 2008. 408 p.



Ranade-Malvi, UR (2011) **Interação de micronutrientes com nutrientes principais com referência especial ao potássio.** Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 24, 106-109.

RENGEL, Z. **Role of calcium in salt toxicity.** *Plant Cell and Environment*, Oxford, v.15, n.6, p.625-632, 1992.

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

SANTOS, A. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. **Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, p. 961-969, 2010a.

SILVA, A, O. **A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido.** Revista Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais, Sinop, v. 2, n. 3, p. 180- 186, 2014

SOARES, H. R.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; LIRA, R. M.; BEZERRA, R. R. **Mineral nutrition of crisphead lettuce grown in a hydroponic system with brackish water.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 29, n. 3, p. 656-664, 2016.

SOARES, H. R. ; SILVA, E. F. F. ; SILVA, G. F. ; PEDROSA, E. M. R. ; ROLIM, M. M. ; SANTOS, A. N. **Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, p. 636-642, 2015.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; PAZ, V. P. S.; BARCELOSOLIVEIRA, J. L. **Uso de águas salobras em sistemas hidropônicos de cultivo** In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. D.; LACERDA, C. F. (Ed). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicações. Fortaleza: INCTSal, 2010, p. 337- 366.

SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F. ; DUARTE, S. N.; MELO, R. F. ; JORGE, C. de A.; BONFIM, E. M. **Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico.** Irriga, v. 12, p. 235-248, 2007

VOGEL, A. I. **Análise inorgânica quantitativa.** Londres: Ed. Guanabara Koogan S. A., 4ª ed., 1981. 690p.

YAHYA, A. **Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame.** *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.21, n.7, p. 1439-1451, 1998