

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA SALSA EM DIFERENTES NÍVEIS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA SOLUÇÃO NUTRITIVA DURANTE O VERÃO EM SISTEMA HIDROPÔNICO NFT

LUDWIG, Bruna Francielle Paravisi¹
LIMA, Thaís Capato²

RESUMO

O cultivo hidropônico de salsa tem ganhado relevância no Brasil por permitir maior controle das condições de cultivo, otimizando o uso de água e nutrientes. Dentre as técnicas disponíveis, o sistema Nutrient Film Technique (NFT) é amplamente utilizado, sendo a condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva um fator determinante no desenvolvimento das plantas, por interferir diretamente na absorção de nutrientes. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da salsa ‘Graúda Portuguesa’ em sistema NFT, no verão, sob diferentes níveis de CE. O experimento foi realizado em estufa agrícola, localizada na Linha Colônia Esperança, no município de Cascavel-PR, entre dezembro de 2024 e janeiro de 2025. Adotou-se delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos de CE (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 mS cm⁻¹) e quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais. As variáveis analisadas foram: altura de plantas, volume radicular, massa fresca e seca da parte aérea e das raízes, teor de clorofila e número de plantas. Observou-se que as variáveis altura, volume radicular e massas apresentaram comportamento quadrático, com melhor desempenho na faixa de 1,4 a 1,6 mS cm⁻¹. Valores inferiores ou superiores a essa faixa reduziram o desempenho das plantas. Para o número de plantas e teor de clorofila, não foram observadas diferenças significativas. Conclui-se que a faixa ideal de CE para a produção de salsa ‘Graúda Portuguesa’ em sistema NFT, no verão, está entre 1,4 e 1,6 mS cm⁻¹, sendo fundamental o manejo adequado da solução nutritiva para maximizar a produtividade e qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: *Petroselinum crispum*. Hidroponia. Crescimento vegetal. Calor.

PRODUCTION AND QUALITY OF PARSLEY AT DIFFERENT LEVELS OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN NUTRIENT SOLUTION DURING SUMMER IN NFT HYDROPONIC SYSTEM

ABSTRACT

The hydroponic cultivation of parsley has gained relevance in Brazil due to its ability to provide greater control over growing conditions, optimizing the use of water and nutrients. Among the available techniques, the Nutrient Film Technique (NFT) system is widely used, with the electrical conductivity (EC) of the nutrient solution being a key factor in plant development, as it directly influences nutrient uptake. In this context, the present study aimed to evaluate the development of the parsley cultivar ‘Graúda Portuguesa’ in an NFT system during summer, under different EC levels. The experiment was conducted in an agricultural greenhouse located at Linha Colônia Esperança, in the municipality of Cascavel-PR, from December 2024 to January 2025. A randomized block design was adopted, with five EC treatments (0.5; 1.0; 1.5; 2.0; and 2.5 mS cm⁻¹) and four replicates, totaling 20 experimental units. The variables analyzed were plant height, root volume, fresh and dry mass of the aerial parts and roots, chlorophyll content, and number of plants. It was observed that plant height, root volume, and biomass exhibited a quadratic response, with the best performance in the range of 1.4 to 1.6 mS cm⁻¹. Values below or above this range reduced plant performance. No significant differences were observed for the number of plants and chlorophyll content. It is concluded that the ideal EC range for producing ‘Graúda Portuguesa’ parsley in an NFT system during summer is between 1.4 and 1.6 mS cm⁻¹, highlighting the importance of proper nutrient solution management to maximize productivity and quality.

KEYWORDS: *Petroselinum crispum*. Hydroponics. Plant growth. Heat.

¹Acadêmico de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná. bfparavisi@gmail.com

²Engenheira Agrônoma, Docente do Curso de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná. thaaisalima@fag.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O cultivo hidropônico no Brasil tem se destacado como uma técnica promissora para a produção de hortaliças, oferecendo uma alternativa de cultivo protegido, onde o solo é substituído por uma solução nutritiva que fornece os nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, a produção de ervas aromáticas e condimentos tem ganhado relevância, com a salsa sendo um exemplo comum dessas especiarias.

A salsa (*Petroselinum crispum*), conhecida na região sul do Brasil como salsinha (Hübscher; Londero e Brum, 2024) também é popularmente chamada de cheiro-verde. Trata-se de uma planta herbácea bienal, originária da Europa, pertencente à família Apiaceae (Costa, 2017). Seu cultivo é favorecido em temperaturas entre 15 e 25 °C, sendo sensível ao calor extremo, o que limita sua disponibilidade durante os meses mais quentes, e com um ciclo de aproximadamente 60 a 80 dias, a salsa pode atingir entre 10 e 19 centímetros de altura, momento em que é colhida (Hoepers, 2017).

Apesar de não ser uma hortaliça de grande porte, a salsa é amplamente utilizada na culinária mundial tanto de forma in natura quanto desidratada. Valorizada por seu sabor suave, ela é apreciada como condimento e também reconhecida por suas propriedades aromáticas, ornamentais e medicinais (Proz, 2020).

O sucesso no cultivo de hortaliças depende de uma interação equilibrada entre fatores climáticos, manejo adequado e características das plantas (Guedes, 2009). Devido à diversidade climática no Brasil, não é possível estabelecer um único conjunto de práticas agrícolas aplicáveis a todas as regiões, exigindo, portanto, a adaptação de sistemas e práticas específicas para cada localidade (Prins et al., 2021).

Embora as condições climáticas possam limitar a produção, a adoção de técnicas adequadas pode aumentar a produtividade e melhorar a qualidade das hortaliças, e nesse sentido, o cultivo hidropônico por meio do sistema NFT (*Nutrient Film Technique*), traz consigo diversas vantagens e se destaca como uma alternativa eficaz para superar as limitações do cultivo tradicional, sendo amplamente adotado por produtores (Zen e Brandão, 2019).

As principais vantagens da hidroponia incluem um maior controle sobre as condições de cultivo, como luminosidade e temperatura, além da redução da exposição a intempéries e problemas fitossanitários, otimizando o uso de água, nutrientes, espaço e mão de obra, o que resulta em um ciclo de desenvolvimento da cultura mais curto e em maior produtividade (Lima, 2019).

O fornecimento adequado de nutrientes minerais é um dos principais fatores que influenciam diretamente a produtividade biológica das plantas (Baron, 2018). Nesse contexto, a preparação correta da solução nutritiva torna-se essencial. De acordo com Barbosa et al. (2009), a formulação da solução

nutritiva deve ser ajustada com base nas exigências nutricionais específicas de cada espécie, uma vez que a absorção de nutrientes pelas raízes é influenciada por fatores como estádios fenológicos, condições climáticas, tipo de cultivo, manejo nutricional e a idade da planta.

Segundo Furlani et al. (2009), o monitoramento constante da concentração de nutrientes na solução aquosa, por meio da condutividade elétrica (CE), é essencial para o bom desenvolvimento de culturas hidropônicas. Valores elevados de CE indicam maior concentração de sais, que, embora possam aumentar a disponibilidade de nutrientes, também elevam a pressão osmótica e restringem a absorção de água. Em hortaliças de ciclo curto, como a salsa, o aumento da CE pode resultar em menor número de folhas, redução da área foliar e menor acúmulo de massa fresca, prejudicando a qualidade comercial (Lacerda et al., 2016; Soares et al., 2016).

Manter a CE dentro de uma faixa ideal é fundamental, pois variações nessa condutividade podem comprometer tanto a absorção de água e nutrientes pelas plantas quanto processos fisiológicos importantes, como a abertura estomática e a eficiência fotossintética (Lima, 2019).

Portanto, o estudo da condutividade elétrica da solução nutritiva é essencial para o cultivo hidropônico da salsa, garantindo que as plantas recebam a quantidade adequada de nutrientes. No entanto, ainda são escassas as pesquisas que abordam sobre essa técnica no cultivo. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento da salsa graúda portuguesa durante o verão, em sistema hidropônico NFT, submetida a diferentes níveis de condutividade elétrica na solução nutritiva.

3. METODOLOGIA

O experimento teve início no dia 23 de dezembro de 2024 e foi finalizado em 19 de janeiro de 2025, sendo conduzido em estufa agrícola localizada em uma propriedade rural na Linha Colônia Esperança, distrito de São João do Oeste, município de Cascavel, Paraná. As coordenadas geográficas do local são 24°56'07" de latitude sul e 53°17'19" de longitude oeste, com uma altitude aproximada de 645 m acima do nível do mar. Aparecido et al., (2016) descreveram que a classificação climática de Köppen para a região Oeste do Paraná é Cfa, caracterizado como clima subtropical úmido, em que o mês mais seco apresenta precipitação superior a 30 mm, e as temperaturas no verão ultrapassam os 22 °C.

A estufa utilizada possui 81 metros de comprimento, 20 metros de largura e 5 metros de altura (pé direito). A cobertura é composta por um filme difusor de polietileno com espessura de 120 micras (μm) complementada por uma tela de sombreamento de 50 % para controlar a luminosidade. Nas

laterais, a estufa é equipada com telas antiafídeos, reforçada por cortinas de filme difusor de polietileno idênticas às da cobertura, com abertura e fechamento conforme a necessidade.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC). Foram aplicados cinco tratamentos de condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva: T1 - 0,5 mS cm⁻¹, T2 - 1,0 mS cm⁻¹ (testemunha), T3 - 1,5 mS cm⁻¹, T4 - 2,0 mS cm⁻¹ e T5 - 2,5 mS cm⁻¹, com quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais (UE), em uma área de aproximadamente 40 m².

Cada unidade experimental foi composta por dois perfis de PVC de 1,5 metros de comprimento, com diâmetro de 40 mm, do tipo Hortivinyl®, desenvolvido para cultivo hidropônico. O espaçamento entre os canais foi de 10 cm, enquanto o espaçamento entre os orifícios foi de 12,5 cm, com aproximadamente 23 plantas por bancada. Além, de outros acessórios que complementam a instalação. As bancadas foram instaladas com altura de 1 metro na parte superior e 0,9 metros na parte inferior em relação ao solo, conforme ilustrado na Figura 1.

Além disso, cada unidade experimental foi equipada com um galão de 20 litros, destinado à solução nutritiva específica de cada tratamento. Esse galão foi conectado a uma bomba submersível (modelo HG-380), utilizada em aquários, com tensão de 220 V/60 Hz, vazão de 1.000 L h⁻¹ e potência de 20 W. A circulação da solução nutritiva nos perfis foi controlada por um temporizador digital, programado para operar em ciclos de 15 minutos de funcionamento seguidos por 15 minutos de pausa, entre 06h00 e 20h00, com uma irrigação adicional de 15 minutos à meia-noite (24h00). O fluxo da solução foi ajustado para 1,0 L min⁻¹.

Figura 1 – Unidades experimentais individualizadas em cada bloco.



Fonte: a autora, 2024.

As mudas de salsa (*Petroselinum crispum*), da cultivar Graúda Portuguesa, foram adquiridas de um viveiro certificado da região. Elas foram cultivadas em bandejas plásticas flexíveis de polietileno, contendo 200 células, utilizando como substrato a turfa de *Sphagnum* da marca Pindstrup®, importada da Letônia. Este substrato possui condutividade elétrica de $0,3 \text{ mS cm}^{-1}$, densidade de $105,0 \text{ kg m}^{-3}$ e pH de 5,5.

Foram semeadas no dia 08 de novembro de 2024 e aos 45 dias após a semeadura (DAS), no dia 23 de dezembro foram transplantadas para bancadas de crescimento inicial, onde a irrigação foi controlada por um temporizador digital, circulando a solução nutritiva a cada 15 minutos, das 06h00min às 18h00min, com uma circulação adicional de 15 minutos às 24h00min. A solução apresentou condutividade elétrica de $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$. As mudas permaneceram nessa fase por 13 dias, sendo então transplantadas para as bancadas de cultivo final em 05 de janeiro de 2025, com as diluições específicas para cada tratamento.

O sistema hidropônico utilizado foi o *Nutrient Film Technique* (NFT) do tipo fechado, e a solução nutritiva foi baseada na formulação de Furlani *et al.* (1999) (Tabela 1), com adaptações feitas pela própria autora do experimento.

Tabela 1 – Quantidade de sais para o preparo de 1000 litros de solução nutritiva – proposta do Instituto Agronômico de Campinas (FURLANI *et al.*, 1999).

Nº	SAL OU FERTILIZANTE	g1000L ⁻¹	Condutividade elétrica
01	Nitrato de cálcio Hydro Especial	750,00	
02	Nitrato de potássio	500,00	
03	Fosfato monoamônio (MAP)	150,00	
04	Sulfato de magnésio	400,00	
05	Sulfato de cobre	0,15	
06	Sulfato de zinco	0,50	
07	Sulfato de manganês	1,50	
08	Ácido bórico	1,50	
09	Molibdato de Sódio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	0,15	
10	Tenso-Fe® (FeEDDHMA-6% Fe.)	30,0	

Fonte: Adaptado de Furlani *et al.* (1999).

A solução nutritiva adaptada pela autora foi preparada em um reservatório com capacidade para 1.000 litros de água (Tabela 2). Essa solução concentrada foi constantemente agitada e utilizada para abastecer os galões das bancadas de cultivo, onde foram realizadas as diluições necessárias para cada tratamento. As soluções nutritivas concentradas, utilizadas para compor e repor as soluções nutritivas finais, otimizam o processo produtivo, pois reduzem a necessidade de mão de obra para a pesagem diária dos fertilizantes, que é essencial para repor os nutrientes consumidos na solução nutritiva final.

Tabela 2 – Quantidade de sais para o preparo de 1000 litros de solução nutritiva – proposta da autora do experimento.

Nº	SAL OU FERTILIZANTE	g1000L ⁻¹	Condutividade elétrica
01	Nitrato de cálcio Hydro Especial	1.700,00	
02	Nitrato de potássio	850,00	
03	Fosfato monoamônio (MAP)	300,00	
04	Sulfato de magnésio	850,00	3,4 mS cm ⁻¹
05	Mix de micronutrientes quelatizados por EDTA	45,0	
06	Tenso-Fe® (FeEDDHMA-6% Fe.)	50,0	

Fonte: autora, 2024.

A qualidade da água utilizada para preparar a solução nutritiva também pode afetar a CE da solução (Soares *et al.*, 2020). Por exemplo, água com alta concentração de sais pode aumentar a CE da solução nutritiva, o que pode afetar negativamente o crescimento das plantas. Portanto, é importante utilizar água de boa qualidade e fazer testes regulares na água para garantir que a CE esteja dentro da faixa ideal para o cultivo hidropônico (Jones Jr, 2016; Richa *et al.*, 2020).

Para o preparo da solução nutritiva, foi utilizada água proveniente de um poço artesiano localizado na propriedade. Duas amostras dessa água foram enviadas para análise: uma em setembro de 2024 e outra em janeiro de 2025. As análises foram realizadas pela empresa BrasÁgua, situada em Cascavel/PR.

Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 3, que também inclui as recomendações de Benoit (1992) e Martinez (1997) para a produção hidropônica.

Tabela 3 – Índice de qualidade para a água a ser usada em cultivos hidropônicos comparados aos resultados obtidos da análise da água usada na solução nutritiva. BrasÁgua, Cascavel, PR, 2025.

Elemento químico	Limite máximo padrão (mg L ⁻¹)	Resultado da água utilizada no experimento (mg L ⁻¹)
Sódio	11,50	5,9
Cloro	35,50	< 0,02
Cálcio	80,20	5,61
Magnésio	12,20	1,45
Sulfato	48,10	< 2,0
Bicarbonato	244,00	28,99
Ferro	0,03	0,07
Manganês	0,55	0,023
Cobre	0,06	0,07
Zinco	0,33	< 0,10
Boro	0,27	7,20
Flúor	0,48	0,19
Condutividade elétrica à 25 °C (µS/cm)	500	74,60 µS/cm
pH	7,5	6,04

Fonte: Adaptado de Benoit (1992). Adaptado de Martinez (1997).

Para o início dos tratamentos, foram adicionados volumes específicos de solução nutritiva concentrada e de água em cada reservatório (Tabela 4), conforme os níveis de condutividade elétrica (CE) estabelecidos para cada tratamento, completando o volume total de 20 litros, correspondente à capacidade máxima de cada reservatório do experimento.

Tabela 4 - Proporções de solução nutritiva concentrada e água utilizadas para o ajuste das condutividades elétricas no início dos tratamentos experimentais.

Tratamento	CE (mS cm^{-1})	Solução nutritiva concentrada (L)	Água (L)	Volume total (L)
T1	0,5	2,5	17,5	20
T2	1,0	5,0	15,0	20
T3	1,5	8,5	11,5	20
T4	2,0	13,0	7,0	20
T5	2,5	16,0	4,0	20

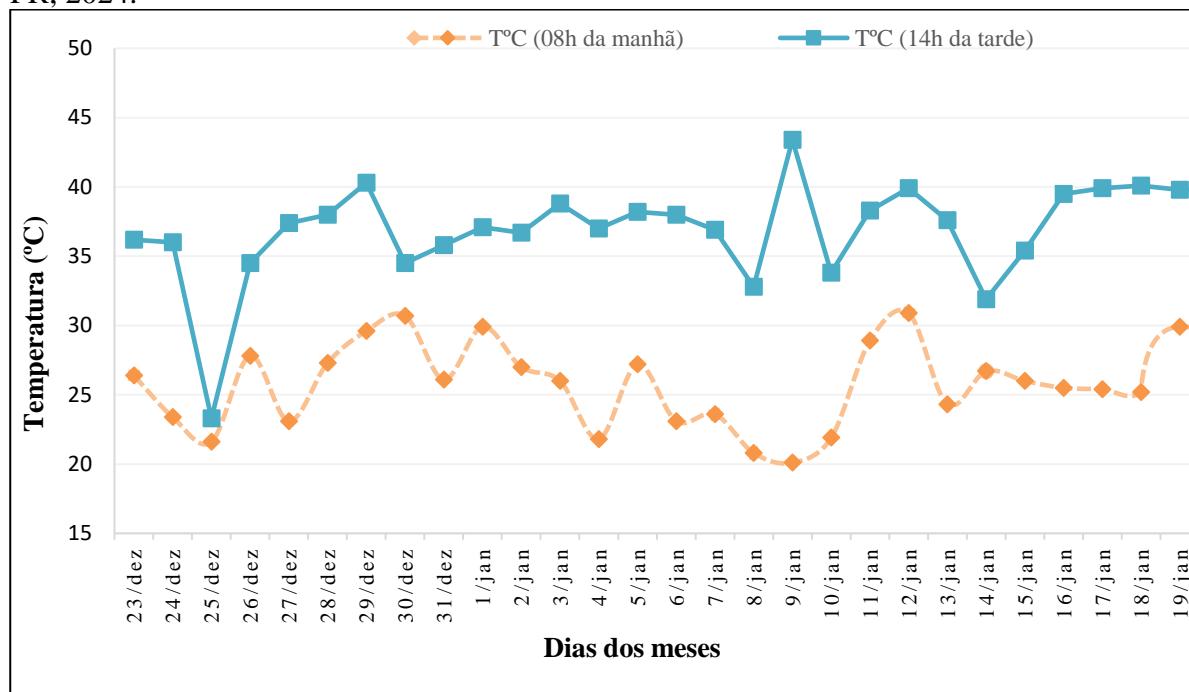
Fonte: a autora, 2024.

O pH da solução nutritiva foi monitorado com o uso de um peágâmetro portátil da marca Akso® e mantido na faixa de 5,5 a 6,5, realizando-se os ajustes necessários com o Redutor de pH da marca Guia®. A condutividade elétrica (CE) foi monitorada diariamente por meio de um condutivímetro portátil da mesma marca, sendo efetuadas correções sempre que a CE apresentasse uma redução de 25% em relação ao valor inicial do tratamento. Quando necessário, realizava-se a adição gradual de solução nutritiva concentrada ou de água pura em cada reservatório, até que a CE retornasse ao nível estabelecido no início do experimento.

A temperatura e a umidade relativa do ar no interior da estufa foram avaliadas diariamente durante todo o período experimental, sempre pela manhã (às 08h00) e à tarde (às 14h00), por meio de um termômetro digital posicionado a 1,80 metro do solo. No mês de dezembro, registraram-se médias de 40,3 °C para a temperatura máxima e 21,6 °C para a mínima; em janeiro, as médias foram de 43,4 °C (máxima) e 20,1 °C (mínima).

Durante o experimento, era comum a temperatura atingir 39 °C nas horas mais quentes do dia. Para amenizar o calor excessivo, adotou-se o uso de telas de sombreamento acionadas sobre as bancadas de cultivo, com o objetivo de reduzir a temperatura interna da estufa. Os dados estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Representação gráfica da variação da temperatura no período do experimento. Cascavel, PR, 2024.



Fonte: a autora, 2024.

A colheita das plantas foi realizada 72 dias após a semeadura. Foram avaliadas 10 plantas por tratamento, acondicionadas individualmente em sacos de papel, identificadas, e, nesse estágio, mensuraram-se as seguintes variáveis: altura de plantas (cm), volume radicular (cm^3), teor de clorofila (A, B e AB), e massa fresca e seca da raiz e da parte aérea (g planta^{-1}).

Para a avaliação do teor de clorofila (A, B e AB), foi utilizada uma leitura indireta expressa em índice SPAD, por meio do clorofilômetro digital ClorofiLOG® (Falker, modelo CFL1030). Foram analisadas três folhas aleatórias de cada planta por tratamento, considerando-se os terços inferior, médio e superior.

Com relação à determinação da massa seca, as plantas foram separadas individualmente em raiz e parte aérea, acondicionadas em sacos de papel Kraft e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar à 65 °C por 72 horas.

Além disso, o crescimento radicular foi medido com o auxílio de uma trena métrica, assim como a altura das plantas, considerando a distância entre o colo e o ápice, mantendo as folhas alinhadas na vertical. O volume radicular foi determinado pelo método do deslocamento de água em proveta graduada, enquanto a massa fresca foi obtida por meio de pesagem em balança de precisão.

Por fim, as variáveis obtidas foram inicialmente submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Havendo atendimento aos pressupostos de normalidade, procedeu-se à análise de variância (ANOVA). Na hipótese de violação da normalidade, recorreu-se ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Para a comparação dos tratamentos, realizou-se análise de regressão, adotando-se o nível de

significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram conduzidas por meio do software SISVAR, versão 5.8 (Ferreira, 2019).

4. ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da análise de variância e estatísticas descritivas das variáveis morfofisiológicas da salsa Graúda Portuguesa, avaliadas aos 72 dias de cultivo hidropônico em sistema NFT sob diferentes condutividades elétricas, estão sumarizados nas Tabela 5 e 6.

Tabela 5 – Resultados da análise de variância e teste de normalidade para os parâmetros número de plantas (NP), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), Clorofila a (CLa), Clorofila b (CLb) e Clorofila total (CLtotal) obtidos aos 72 dias de cultivo, a partir de plantas de salsa portuguesa (*Petroselinum crispum*) cultivadas sob condutividade elétrica crescente da solução nutritiva. Cascavel, PR.

Parâmetros	N.P.	M.F.P.A (g)	M.F.R (g)	CL.a	CL.b	CL total
Média	17,1	15,37	10,37	19,31	8,59	27,88
C.V. (%)	19,98	9,69	10,36	13,00	16,96	11,94
Shapiro Wilk	0,072	0,227	0,003	0,872	0,561	0,547
P-valor ANOVA	0,084 ^{ns}	0,000 ^{**}	-	0,133 ^{ns}	0,168 ^{ns}	0,067 ^{ns}
Kruskal-Wallis	-	-	0,011 [*]	-	-	-

Fonte: as autoras, 2024.

Nota: C.V.: Coeficiente de Variação. ^{**}: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. ^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. ^{*}: significativo ao nível de 5% pelo teste de Kruskall-wallis.

Tabela 6 – Resultados da análise de variância e teste de normalidade para os parâmetros volume radicular (VR), massa seca de raiz (MSR), massa seca de parte aérea (MSPA) e altura de planta (AP) obtidos aos 72 dias de cultivo, a partir de plantas de salsa portuguesa (*Petroselinum crispum*) cultivadas sob condutividade elétrica crescente da solução nutritiva. Cascavel, PR.

Parâmetros	VR (cm ³)	M.S.R (g)	M.S.P.A (g)	A.P (cm)
Média	9,97	1,26	3,51	23,71
C.V. (%)	9,67	11,75	8,38	6,77
Shapiro Wilk	0,446	0,099	0,223	0,458
P-valor ANOVA	0,002 ^{**}	0,003 ^{**}	0,000 ^{**}	0,008 ^{**}

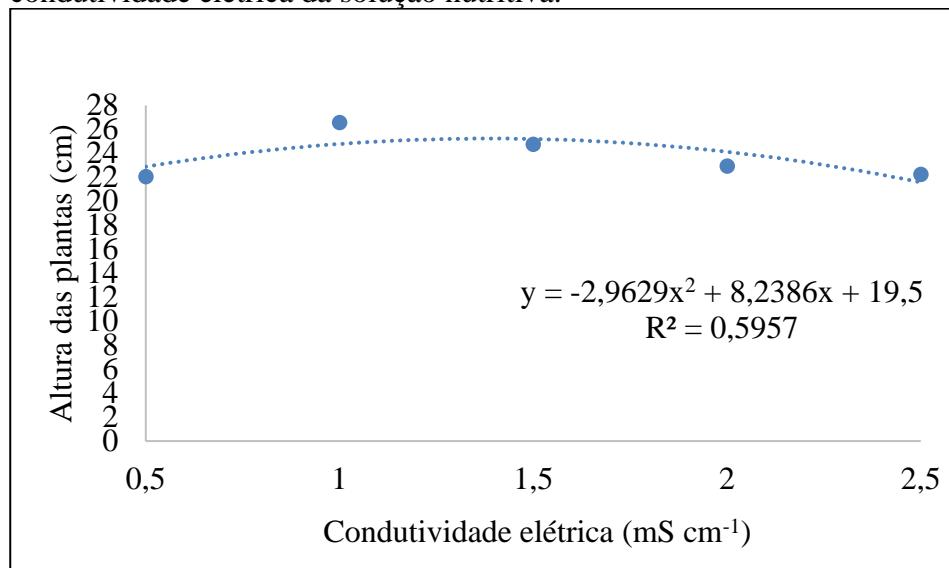
Fonte: as autoras, 2024.

Nota: C.V.: Coeficiente de Variação. ^{**}: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. ^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

As Tabelas 5 e 6 informam que durante os 72 dias cultivo hidropônico em sistema NFT as diferentes condutividades elétricas (CE) da solução nutritiva influenciaram significativamente a maioria das variáveis morfofisiológicas da salsa Graúda Portuguesa, com comportamento quadrático para altura das plantas (AP), massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, massa fresca (MFR) e seca (MSR) das raízes, e volume radicular (VR), apresentando ponto ótimo entre 1,4 e 1,6 mS cm⁻¹.

Por outro lado, o número de plantas (NP) e os teores de clorofila A, B e total (CL.A, CL.B, CL.AB) não foram significativamente afetados pela CE ($p > 0,05$). A variável altura das plantas apresentou resposta quadrática significativa em função do aumento da concentração da solução nutritiva, até um ponto máximo (Figura 3).

Figura 3 - Altura de plantas (AP) de salsa graúda portuguesa, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva.



Fonte: as autoras, 2024.

Com base na equação de regressão ajustada ($y = -2,9629x^2 + 8,2386x + 19,5$), a altura máxima das plantas de salsa foi de 26,56 cm, correspondente à concentração de 1,39 mS cm⁻¹. A curva de resposta apresentou concavidade voltada para baixo, indicando aumento no crescimento até concentrações próximas de 1,4 a 1,5 mS cm⁻¹, seguido de discreta redução em níveis superiores de condutividade elétrica.

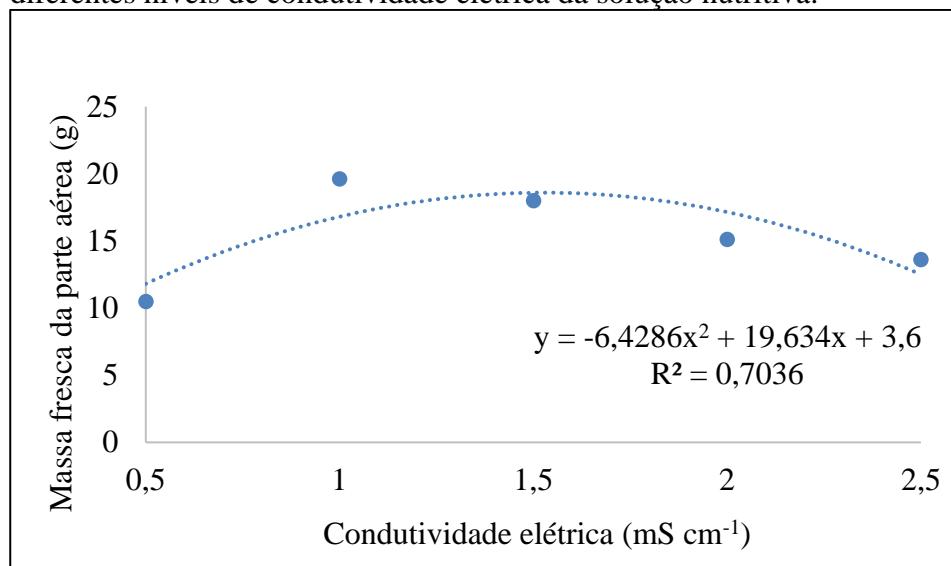
Esse comportamento caracteriza uma resposta quadrática típica, com desempenho superior das plantas em concentrações intermediárias da solução nutritiva, sugerindo que, nesse intervalo, a disponibilidade de nutrientes foi favorável ao crescimento vegetal. Em contrapartida, concentrações mais elevadas de CE resultaram na redução da altura das plantas, provavelmente devido ao estresse osmótico, que compromete a absorção de água e o alongamento celular.

Esse efeito também foi observado em outras espécies. Em estudo com feijão-caupi, Coelho *et al.* (2014) observaram que o aumento da salinidade reduziu significativamente o potencial osmótico foliar, indicando um mecanismo de ajuste osmótico. Resultados semelhantes foram obtidos por Penha (2023), que verificou a redução no crescimento de alface em substrato com elevação da CE da solução nutritiva.

O efeito da salinidade sobre as plantas decorre principalmente de dois fatores: o estresse osmótico e a toxidez iônica. O primeiro ocorre pela redução do potencial hídrico da solução nutritiva, dificultando a absorção de água pelas raízes. O segundo resulta do acúmulo excessivo de íons, especialmente, que podem desestabilizar processos metabólicos e reduzir a atividade fotossintética. Essa combinação limita a expansão foliar, compromete o crescimento da parte aérea e impacta diretamente a produtividade de hortaliças folhosas como a salsa (Parida e Das, 2005).

A Figura 4 ilustra a resposta da massa fresca da parte aérea (MFPA) de plantas de salsa graúda portuguesa submetidas a diferentes concentrações da solução nutritiva. A curva ajustada demonstra o comportamento quadrático da variável em função da condutividade elétrica, com a respectiva equação de regressão e o coeficiente de determinação (R^2).

Figura 4 - Massa Fresca de parte aérea (MFPA) de plantas de salsa graúda portuguesa, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva.



Fonte: as autoras, 2024.

Em termos de massa fresca da parte aérea, observou-se diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$), com comportamento quadrático em resposta ao aumento da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva. A curva de regressão indica a existência de um ponto ótimo de produção de biomassa fresca, registrado em torno de 1,52 mS cm⁻¹, com reduções nos valores a partir dessa concentração. Esse resultado evidencia que a CE influencia significativamente o crescimento da planta até certo limite. Em níveis mais elevados de salinidade, a absorção de água e nutrientes pelas raízes torna-se dificultada, comprometendo o desenvolvimento da parte aérea.

Segundo Taiz *et al.* (2017), a área foliar tem importância fundamental por ser uma variável de crescimento indicativa da produtividade, uma vez que o processo fotossintético depende da interceptação da radiação luminosa e sua conversão em energia química, processo que ocorre

diretamente nas folhas. Dessa forma, qualquer fator que afete o desenvolvimento foliar, como o estresse salino provocado por CE elevada, também impacta diretamente a capacidade fotossintética e, consequentemente, a produção de biomassa.

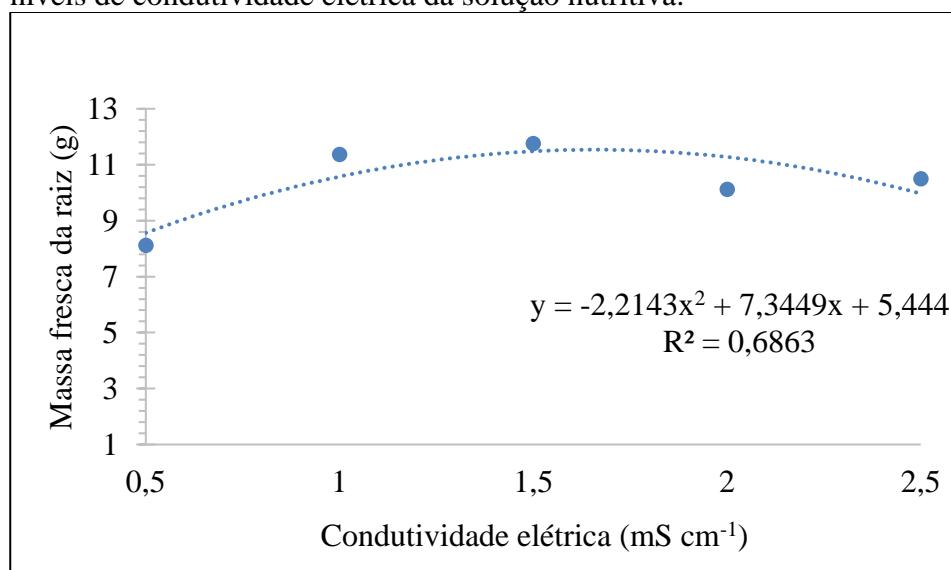
Esse efeito está relacionado ao aumento da pressão osmótica da solução nutritiva, causado pela maior concentração de sais, o que dificulta a absorção de água pelas plantas (Mello e Campagnol (2016). A tendência observada neste estudo é corroborada por Luz *et al.* (2012), que relataram redução na massa fresca da parte aérea da salsa crespa com o aumento da CE acima de 100% da concentração da solução proposta por Furlani *et al.* (1999).

Dessa forma, o tratamento influenciou significativamente a produção de biomassa aérea, sendo o ponto de máximo alcançado em níveis intermediários da variável independente.

Em resumo, a condutividade elétrica ótima para a obtenção de máxima massa fresca da parte aérea da salsa 'Graúda Portuguesa' em sistema NFT, nas condições deste experimento, foi de aproximadamente $1,52 \text{ mS cm}^{-1}$.

De forma análoga à massa fresca da parte aérea, a Figura 5 demonstra o comportamento quadrático da massa fresca da raiz (MFR) em resposta aos níveis de condutividade elétrica. A curva de regressão ajustada aos dados experimentais evidencia um ponto ótimo de CE para o desenvolvimento da massa radicular, conforme indicado pela equação e pelo valor de R^2 .

Figura 5 - Massa Fresca de raiz (MFR) de plantas de salsa graúda portuguesa, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva.



Fonte: as autoras, 2024.

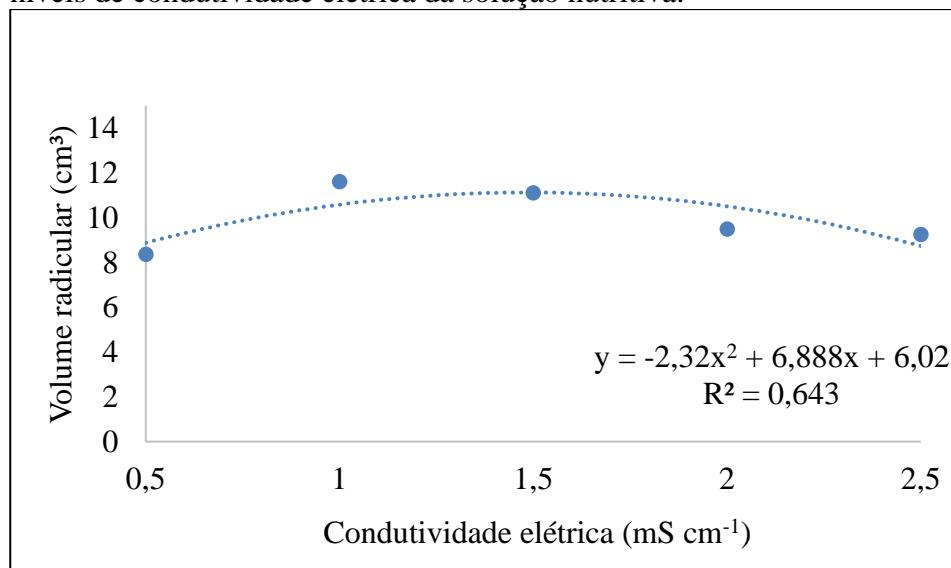
Nos resultados obtidos para a variável massa fresca das raízes, observou-se diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$), com comportamento quadrático em função da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva, conforme descrito pela equação de regressão. A curva obtida

apresentou concavidade voltada para baixo, indicando incremento da biomassa radicular até um ponto ótimo, com produção máxima registrada em torno de $1,65 \text{ mS cm}^{-1}$. A partir desse valor, verificou-se redução progressiva na massa fresca das raízes, sugerindo efeitos adversos de concentrações salinas elevadas.

Esse padrão é consistente com estudos anteriores. Por exemplo, Farias *et al.* (2009) investigaram o crescimento inicial e a nutrição mineral de mudas de gliricídia (*Gliricidia sepium*) sob diferentes níveis de salinidade em solução nutritiva. Os resultados indicaram que o aumento da salinidade promoveu reduções no crescimento e nos teores de macronutrientes, especialmente na raiz, evidenciando a sensibilidade da espécie à salinidade.

A Figura 6 ilustra a resposta do volume radicular (VR) de plantas de salsa graúda portuguesa em relação às diferentes concentrações da solução nutritiva. A curva de regressão ajustada demonstra o comportamento quadrático da variável, juntamente com a respectiva equação e o coeficiente de determinação (R^2).

Figura 6 – Volume radicular (VR) de plantas de salsa graúda portuguesa, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva.



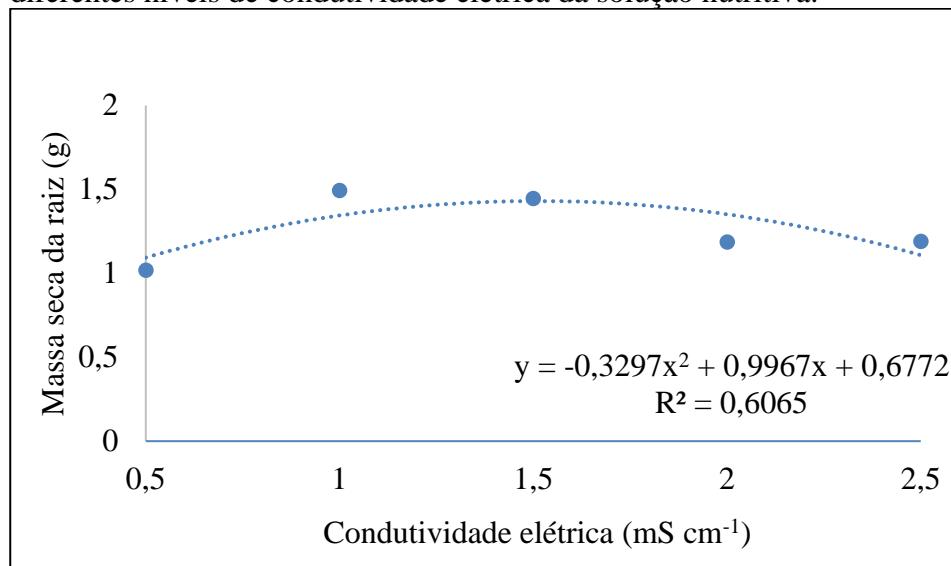
Fonte: as autoras, 2024.

A análise de significância em ordem quadrática para o volume radicular (VR) da cultivar de salsa graúda portuguesa indicou aumento do desenvolvimento radicular até uma concentração próxima de $1,5 \text{ mS cm}^{-1}$, à medida que a condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva foi elevada. A curva de resposta apresentou concavidade voltada para baixo, com ponto de máximo evidenciado, indicando a existência de um nível ideal de CE para o crescimento das raízes. A partir desse ponto, observou-se redução gradual do volume radicular com o aumento da CE, o que sugere que concentrações excessivas podem comprometer a absorção de água e nutrientes.

Esse comportamento é corroborado por estudos que demonstram que o aumento da salinidade pode afetar negativamente o crescimento das culturas, reduzindo o potencial osmótico e interferindo no metabolismo das plantas (Viana, 2017). Assim, o volume radicular foi significativamente influenciado pelos tratamentos, com a melhor resposta obtida em concentrações intermediárias de condutividade elétrica.

A Figura 7 apresenta a resposta da massa seca das raízes (MSR) de plantas de salsa graúda portuguesa em função das diferentes concentrações da solução nutritiva. A curva de regressão ajustada demonstra o comportamento quadrático da variável, juntamente com a respectiva equação e o coeficiente de determinação (R^2).

Figura 7 – Massa seca das raízes (MSR) de plantas de salsa graúda portuguesa, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva.



Fonte: as autoras, 2024.

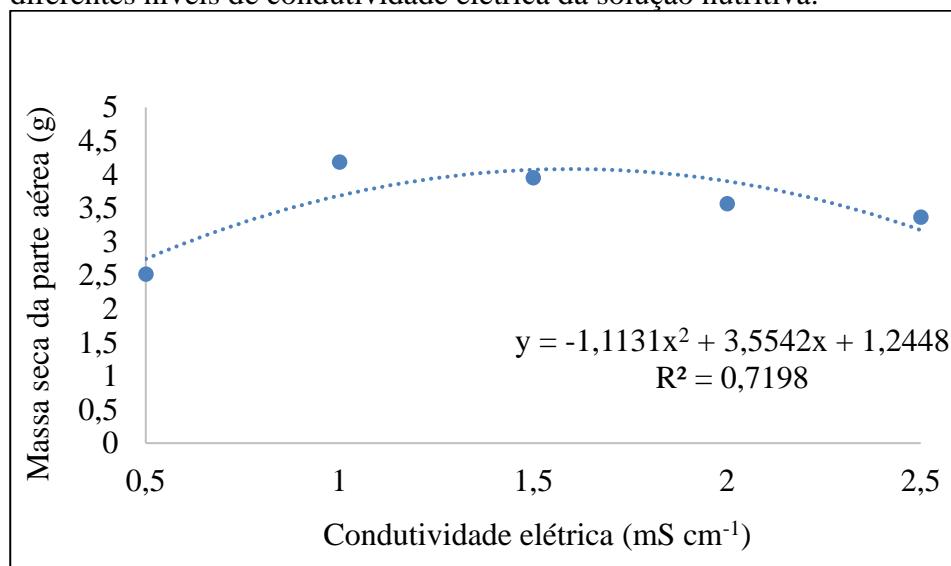
A massa seca das raízes apresentou comportamento quadrático em função do aumento da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva. A curva de regressão indicou que a maior acumulação de biomassa seca radicular ocorreu em torno de $1,5 \text{ mS cm}^{-1}$, seguida por uma redução progressiva com o aumento adicional da CE.

Estudos anteriores corroboram esses achados. Por exemplo, Costa *et al.* (2001) avaliaram o efeito da CE da solução nutritiva na produção de alface americana em sistema hidropônico e observaram que a massa seca das raízes não foi significativamente influenciada pelas diferentes condutividades elétricas testadas ($1,46$; $2,46$ e $4,21 \text{ mS cm}^{-1}$). No entanto, a maior produção de biomassa fresca e seca da parte aérea foi obtida com a CE de $2,46 \text{ mS cm}^{-1}$, indicando que níveis moderados de CE favorecem o crescimento da planta como um todo.

Além disso, Helbel Junior *et al.* (2008) investigaram a influência da CE, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica e concluíram que a CE de 1,2 dS m⁻¹ proporcionou os maiores valores de biomassa fresca e diâmetro de caule. Os autores destacaram que concentrações salinas elevadas podem aumentar a pressão osmótica da solução nutritiva, dificultando a absorção de água pelas plantas e, consequentemente, reduzindo o crescimento radicular.

A Figura 8 apresenta a resposta da massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de salsa graúda portuguesa em função das diferentes concentrações da solução nutritiva. A curva de regressão ajustada demonstra o comportamento quadrático da variável, juntamente com a respectiva equação e o coeficiente de determinação (R^2).

Figura 8 - Massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de salsa graúda portuguesa, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva.



Fonte: as autoras, 2024.

A massa seca da parte aérea apresentou comportamento semelhante ao observado para outras variáveis morfológicas, ajustando-se a uma equação de regressão quadrática. O ponto de máxima produção foi identificado próximo a 1,6 mS cm⁻¹, seguido de redução na biomassa seca em níveis mais elevados de condutividade elétrica. Esse resultado indica que a salinidade da solução nutritiva, quando excessiva, limita o acúmulo de matéria seca na parte aérea da planta, comprometendo seu crescimento.

Resultados semelhantes foram obtidos por Dias *et al.* (2022), que verificaram queda na produção de biomassa seca de rabanete com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, efeito atribuído ao estresse salino. Esse estresse reduz a absorção de água e nutrientes, prejudicando a expansão celular e o acúmulo de massa.

Além disso, Medeiros-Sá *et al.* (2019) também observaram efeitos negativos da salinidade no acúmulo de biomassa ao avaliarem a tolerância ao estresse salino do maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis*) na fase inicial de desenvolvimento. Os autores relataram que o aumento da salinidade da água de irrigação reduziu significativamente a massa seca tanto da parte aérea quanto das raízes, comprometendo o crescimento radicular e, por consequência, a eficiência fisiológica da cultura.

Plantas cultivadas em soluções nutritivas com alta CE tendem a apresentar menor turgescência, menor massa fresca e alterações visíveis na morfologia foliar, fatores que afetam sua aceitação pelo mercado. Em espécies como alface, repolho e rúcula, esses efeitos já foram amplamente observados e são consistentes com os resultados encontrados para a salsa neste estudo (Sahin *et al.*, 2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A faixa ideal de condutividade elétrica para o cultivo hidropônico de salsa 'Graúda Portuguesa' durante o verão em sistema NFT, nas condições deste estudo, situou-se entre 1,4 e 1,6 mS cm⁻¹. Dentro desse intervalo, observou-se o maior acúmulo de biomassa e o melhor desenvolvimento das plantas em todos os parâmetros avaliados. Condutividades elétricas inferiores e superiores a essa faixa resultaram em desempenho inferior, provavelmente devido à nutrição inadequada e ao estresse salino, respectivamente. A resposta quadrática obtida reforça a importância crucial do manejo preciso da solução nutritiva em sistemas hidropônicos para otimizar a produção.

REFERÊNCIAS

- APARECIDO, L. E. D.O., ROLIM, G. D. D., RICHETTI, J., SOUZA, P. S. D., JOHANN, J. A. Classificações climáticas de Köppen, Thornthwaite e Camargo para zoneamento climático no Estado do Paraná, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, n.4, p. 405-417, 2016.
- BARBOSA, M. S., BARBOSA, J. G., MARTINEZ, H. E. P., GROSSI, J. A. S., REIS, F. P., PONTES, T. M., RAIMUNDO, M. R. Concentração de nutrientes em crisântemos de corte, cultivados em hidropônia, sob diferentes doses de cálcio. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 2, 2009. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6896>. Acesso em: 22 set. 2024.
- BARON, D. Respostas fisiológicas da nutrição em cultivo hidropônico. **Revista Campo & Negócios**, 2018. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/respostas-fisiologicas-da-nutricao-em-cultivo-hidroponico/>. Acesso em: 22 set. 2024.

BENOIT, F. **Practical guide for simple culture techniques.** Sint-Katelijne-Water: European Vegetable R & D Center, 1992. 72p.

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; NETO, E.B.; SOUZA, E. R. de. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 708–713, 2014.

COSTA, M. T. S. **Ensaio de competição entre cultivares de salsa (*Petroselinum crispum*) em ambiente aberto.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

COSTA, P. C; DIDONE, E. B.; SESSO, T. M.; CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 595–597, 2001.

DIAS, M. S.; REIS, L. S.; SANTOS, R. H. S.; SILVA, F. A.; SANTOS, J. P. O.; PAES, R. A. Substratos e níveis de condutividade elétrica da água de irrigação no crescimento de rabanete. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 1, e9174, 2022.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*Gliricidia sepium*) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1445–1454, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise para delineamento de parcelas subdivididas de efeitos fixos. **Revista Brasileira de Biometria**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>. Disponível em: <https://biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 4 out. 2024.

FURLANI, P. R., SILVEIRA L. C. P., BOLONHEZI, D., FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas.** Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 52 p. (Boletim Técnico IAC, 180).

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 - Solução Nutritiva.** Campinas: Instituto Agronômico, 2009. (Boletim Técnico IAC, 181). Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/hidroponiap2/index.htm>. Acesso em: 22 set. 2024.
GUEDES, I.M.R. (Ed.). Mudanças climáticas globais e a produção de hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. 131p.

HELBEL JUNIOR, C.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; FRIZZONE, J. A. Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1142–1147, 2008.

HOEPERS, L. M. L. "Crescimento de cultivares de salsa (*Petroselinum crispum*) em condições de sombreamento e a pleno sol". Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

HÜBSCHER, G. H.; LONDERO, P. M. G.; BRUM, T. M. M. Capacidade antioxidante e caracterização físico-química de condimentos orgânicos da região central do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência dos Alimentos: Pesquisa e Aplicações**. p. 66, 2024.

JONES JR, J. B. **Hydroponics: a practical guide for the soilless grower.** 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 1420037706.

LACERDA, C.F., COSTA, R.N.T., BEZERRA, M.A., NEVES, A.L.R., SOUSA, G.G., GHEYI, H.R. (2016) Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: GHEYI, H.R., DIAS, N.S., LACERDA, C.F., GOMES FILHO, E. (Ed.). Manejo da salinidade na agricultura: **Estudos básicos e aplicados.** INCTSAL. Fortaleza. 337-352.

LIMA, T. C. **Produção e qualidade de plantas medicinais em cultivo hidropônico.** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

LUZ, J. M. Q.; ANDRADE, L. V.; DIAS, F. F.; SILVA, M. A. D.; HABER, L. L.; OLIVEIRA, R. C. Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de solução nutritiva e posições das plantas nos perfis hidropônicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 589–597, jul./ago. 2012.

MARTINEZ, H.E.P. **Formulação de soluções nutritivas para cultivos hidropônicos comerciais.** Jaboticabal, FUNEP, 1997. 31p.

MEDEIROS-SÁ, R. C. N.; BARBOSA, L. C. S.; LIMA, A. S.; DANTAS, L. D. V.; LINHARES, P. C. A.; SÁ, F. V. S. Biomassa e tolerância do maracujazeiro sob estresse salino e silício. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 9, p. 1–6, 2019.

MELLO, S. C.; CAMPAGNOL, R. **Olericultura: cultivo hidropônico.** Curitiba: SENAR-PR, 2016 - 84 p. ISBN 978-85-7565-138-4.

NUNES, A. B.; AVIZ, R. O.; CASAIS, L. K. N.; SANTOS, T. V.; SOARES, D. S.; ALVES, G. A. R.; FREITAS, L. S.; BORGES, L. S. Produtividade de salsa cultivada em sistema hidropônico e semi-hidropônico, no município de Paragominas/Pará. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.6, p.559-567, 2020.

PARIDA, A.K., DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, p. 324-349, 2005.

PENHA, D. M.; **Condutividade elétrica e mitigador de salinidade em cultivares de alface em substrato.** 2023. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023.

PRINS, C. L., COSTA, L. B., SILVA, L. B., JUNIOR, E. G. F., SILVA LEMOS, G. C., & FERREIRA, J. M. (2021). Espaço olericultura. **Cadernos de Extensão do Instituto Federal Fluminense**, 5, 157-165.

PROZ, M. Á. **Compostos bioativos em salsa (*Petroselinum crispum*) e manjericão (*ocimum basilicum*) produzidos sob diferentes sistemas de cultivo.** 2020. Tese/Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

RICHA, A.; TOUIL, S.; FIZIR, M.; MARTINEZ, V. Recent advances and perspectives in the treatment of hydroponic wastewater: a review. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, 19, n. 4, p. 945-966, 2020.

SAHIN, E., EKINCI, M., ORS, S., TURAN, M., YILDIZ, S., YILDIRIM, E. Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). **Scientia Horticulturae**, 240:196-204, 2018.

SOARES, H. R.; SILVA, É. F. D. F.; SILVA, G. F. D.; CRUZ, A. F. D. S. et al. Salinity and flow rates of nutrient solution on cauliflower biometrics in NFT hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 24, p. 258-265, 2020.

SOARES, T.M., DUARTE S.N., SILVA, E.F.F., PAZ, V.P.F., OLIVEIRA, J.L.B. **Uso de águas salobras em sistemas hidropônicos de cultivo.** In: GHEYI, H.R., DIAS, N.S., LACERDA, C.F., GOMES FILHO, E. (Ed.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. INCTSAL. Fortaleza. 373-393. 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. A.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Artmed Editora, 2017.

VIANA, P. C. **Eficiência do uso de águas salobras no cultivo hidropônico da couve-folha. 2017. 175 f. Dissertação** (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas., 2017.

ZEN, H. D.; BRANDÃO, J. B. Competitividade da produção hidropônica de hortaliças folhosas no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 115, 2019.