

ORIGINAL PAPER**Crescimento da moringa sob diferentes concentrações das soluções nutritivas preparadas com água salobra**

Glaucia Silva de Jesus Pereira¹*; Mairton Gomes da Silva^{1,2}; Luan Silva Sacramento¹ & Hans Raj Gheyi²

¹Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Resumo: A escassez de água em regiões semiáridas, como no Nordeste brasileiro, tem motivado o uso de águas salobras para irrigação dos cultivos. Porém, o uso dessas águas apresenta desafios tanto no que diz respeito à salinização do solo quanto à resposta das plantas ao estresse salino. Portanto, o cultivo de espécies tolerantes à salinidade pode ser uma estratégia para o uso dessas águas. Nesse contexto, uma espécie com potencial para o cultivo sob tais condições adversas é a moringa (*Moringa oleifera* Lam.). O objetivo do presente estudo foi avaliar o crescimento inicial da moringa em sistema hidropônico floating sob diferentes concentrações das soluções nutritivas preparadas com água salobra. O experimento foi realizado em casa de vegetação, usando um delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 2×4 : dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa) (0,3 e 5,0 dS m⁻¹ com NaCl) foram combinados com quatro concentrações das soluções nutritivas (CSN) (25, 50, 75 e 100%). Cada unidade experimental consistiu de um vaso plástico de 2 L de capacidade. As plantas foram cultivadas sob essas condições por 25 dias, com avaliações não destrutivas realizadas a cada cinco dias (dos 10 aos 20 dias) dos seguintes parâmetros: altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e índices das clorofilas *a* e *b* (ICla e IClb). Ao final do experimento (25 dias), além das avaliações biométricas realizadas, determinaram-se as massas de matéria fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA), os teores de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ e a razão Na⁺/K⁺ nos tecidos foliares e caulinares das plantas. As variáveis biométricas (AP, DC e NF) foram afetadas isoladamente pelo estresse salino, que variou de acordo com o período de avaliação. ICla e IClb apresentaram respostas diferenciadas ao estresse salino, com variações tanto em função da CSN quanto dos períodos de avaliações. Os teores de K⁺ tanto nas folhas quanto no caule sofreram mudanças significativas em função dos fatores isolados; enquanto para os teores de Na⁺ e Cl⁻ e a razão Na⁺/K⁺, houve efeito significativo da interação entre os fatores. Sob condições de estresse salino, as produções de MFPA e MSPA foram maximizadas com 62,75 e 64,38% da CSN, respectivamente. Portanto, pode-se concluir que, para o cultivo sob condições de estresse salino pode-se reduzir a concentração de nutrientes das soluções nutritivas mantendo a produção de biomassa.

Palavras-chave: *Moringa oleifera* Lam., cultivo hidropônico, estresse salino, composição da solução nutritiva, nutrição de plantas.

* Autor correspondente: E-mail: glauciasjpereira@aluno.ufrb.edu.br

Editores: Petterson Costa Conceição Silva & Selma Cristina da Silva

Recebido em: 18 de maio de 2025

Aceito em: 06 de outubro de 2025

Growth of moringa under different concentrations of nutrient solutions prepared with brackish water

Abstract: The water scarcity in semi-arid regions, such as the Brazilian Northeast, has led to the use of brackish waters for crop irrigation, motivating to alleviate the freshwater scarcity. However, using this type of water presents challenges both in terms of soil salinization and plant response to salt stress. Therefore, cultivating species that are tolerant to salinity can be a strategy for utilizing such waters. In this context, one species with potential for cultivation under such adverse conditions is moringa (*Moringa oleifera* Lam.). This study aimed to evaluate the initial growth of moringa in a floating hydroponic system under different concentrations of nutrient solution prepared with brackish water. The experiment was conducted in a greenhouse using a randomized block design in a 2×4 factorial scheme: two levels of electrical conductivity of water (ECw) (0.3 and 5.0 dS m⁻¹ with NaCl) were combined with four nutrient solution concentrations (NSC) (25, 50, 75, and 100%). Each experimental unit consisting of one 2-L plastic pot. The plants were grown under these conditions for 25 days, with non-destructive evaluations performed every five days (from 10 to 20 days) for the following parameters: plant height (PH), stem diameter (SD), number of leaves (NL), and chlorophyll *a* and *b* indices (Chla and Chlb). At the end of the experiment (at 25 days), in addition to the biometric evaluations, the shoot fresh matter (SFM) and shoot dry matter (SDM) were determined, along with Na⁺, K⁺, and Cl⁻ contents and Na⁺/K⁺ ratio in the leaf and stem tissues of the plants. The biometric variables (PH, SD, and NL) were independently affected by salt stress, with variations depending on the evaluation period. Chla and Chlb showed differential responses to salt stress, varying according to NSC and evaluation periods. Leaf and stem K⁺ content showed significant changes in response to individual factors, whereas Na⁺ and Cl⁻ content and the Na⁺/K⁺ ratio exhibited interactive effects between factors. Under salt stress conditions, SFM and SDM production reached maximum values at NSC of 62.75 and 64.38%, respectively. Therefore, these findings demonstrate that under saline conditions, nutrient solution concentrations can be effectively reduced while maintaining plant biomass production. **Keywords:** *Moringa oleifera* Lam., hydroponic cultivation, salt stress, nutrient solution composition, plant nutrition.

Introdução

Os efeitos adversos das mudanças climáticas têm agravado ainda mais a disponibilidade hídrica nas regiões áridas e semiáridas. Para mitigar a escassez de água de qualidade, o uso de águas salobras tem sido uma alternativa para irrigação dos cultivos. No entanto, existem graves riscos de salinização do solo, além de afetar o crescimento das plantas, especialmente na fase inicial de mudas (Lessa et al., 2023; Sousa et al., 2024).

A *Moringa oleifera* Lam. é uma espécie de grande versatilidade, cujos usos se estendem a diversas áreas, como nutrição, medicina, agricultura, tratamento de água, entre outras (Sané et al., 2022; Cobos et al., 2024; Bayomy et al., 2025). Todas as partes da moringa são aproveitadas, destacando-se

o uso das vagens de sementes imaturas, das folhas, das flores e das sementes, que podem ser consumidas *in natura* ou utilizadas para a extração de óleo (Bhuker et al., 2023; El Bilali et al., 2024). Essa multifuncionalidade reforça o valor da planta tanto na alimentação quanto em aplicações industriais e farmacêuticas (Chis et al., 2024; Fejér et al., 2025; Khoza et al., 2025). Portanto, sua ampla aplicação torna-a uma cultura de relevância tanto socioeconômica quanto ambiental.

Além dessas aplicações, as plantas de moringa têm sido utilizadas em programas de recuperação de áreas degradadas, especialmente em solos afetados por sais (Costa et al., 2019; Bayomy et al., 2025). No entanto, a salinidade do solo pode representar um sério desafio para a

germinação e o estabelecimento das plantas de moringa em condições de campo. Altas concentrações de sais afetam negativamente a absorção de água e nutrientes, podendo inibir a germinação das sementes e comprometer o desenvolvimento inicial das plântulas (Oliveira et al., 2009; Oliveira et al., 2013; Tavares Filho et al., 2020). Portanto, a produção de mudas utilizando águas salobras surge como uma estratégia essencial para garantir o sucesso do cultivo da moringa, especialmente em regiões onde a salinidade do solo é um fator limitante. Essa abordagem permite que as plantas se adaptem previamente ao estresse salino, desenvolvendo mecanismos de tolerância que aumentem significativamente a taxa de sobrevivência após o transplantio em campo. Consequentemente, a qualidade das mudas de moringa está diretamente relacionada a diversos fatores, como o controle do ambiente de cultivo (seja em ambiente protegido ou a céu aberto), o tipo de substrato utilizado (apenas solo, solo misturado com substratos ou até mesmo sistemas de cultivo sem solo, como a hidroponia), o manejo adequado da nutrição e outras práticas culturais. Cada um desses fatores influencia o desenvolvimento inicial das plantas, afetando desde o enraizamento até a tolerância ao estresse após o transplantio.

O crescimento das mudas de moringa também está diretamente relacionado à duração do estresse e aos níveis de salinidade aos quais são submetidas. A exposição prolongada à elevadas concentrações de sais podem desencadear uma série de prejuízos aos processos fisiológicos vegetais, como a absorção de água e nutrientes, além de inibir o desenvolvimento radicular e a produção de biomassa. No estudo de Oliveira et al. (2013), a área foliar e a produção de biomassa da moringa foram as variáveis mais afetadas pelo estresse salino (condutividade elétrica da água – CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) sob cultivo por 55 dias em vasos com solo. Rodrigues et al. (2025) avaliaram a produção de mudas de moringa cultivadas

com águas salobras (CEa de 1,88; 5,25; 8,62 e $10,00 \text{ dS m}^{-1}$) durante 60 dias após a emergência. As mudas foram desenvolvidas em sacos plásticos com substrato composto por 85% de solo, 10% de areia fina e 5% de esterco bovino (base volume). Os resultados indicaram reduções mais significativas na eficiência fotoquímica e no diâmetro do caule a partir da CEa de $5,25 \text{ dS m}^{-1}$.

A salinidade afeta as plantas de duas formas principais: a primeira é por meio do efeito osmótico, onde o aumento da concentração de sais no solo reduz o potencial hídrico, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas raízes e limitando o crescimento vegetal; a segunda ocorre pelo efeito iônico, causado pelo acúmulo excessivo de íons tóxicos nas células das plantas, como Na^+ e Cl^- . Esses íons podem interferir no equilíbrio nutricional e em processos metabólicos essenciais, como a fotossíntese e a síntese de proteínas, comprometendo o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Esses mecanismos destacam a complexidade dos impactos da salinidade e a necessidade de estratégias que mitiguem seus efeitos negativos (Nóbrega et al., 2018; Nóbrega et al., 2021).

O cultivo sem a presença de solo, utilizando soluções nutritivas, pode promover uma resposta mais eficiente das plantas quando são empregadas águas salobras. Portanto, a hidroponia permite um controle preciso da nutrição e da concentração de sais, reduzindo os efeitos negativos do estresse salino. Mesmo em condições hidropônicas, é esperado um crescimento reduzido das plantas quando a CEa utilizada no preparo das soluções nutritivas é elevada. Isso ocorre porque o estresse salino afeta diretamente o desenvolvimento vegetal, resultando em um menor consumo de nutrientes pelas plantas. Diante disso, é possível optar por soluções nutritivas menos concentradas, ajustando-as às condições de salinidade, o que pode contribuir para uma utilização mais eficiente dos recursos sem comprometer o crescimento das plantas.

Diante da escassez de estudos com a moringa em soluções nutritivas sob estresse salino, este trabalho objetivou avaliar seu crescimento inicial submetido a diferentes concentrações de soluções nutritivas preparadas com água salobra.

Material e Métodos

Local do estudo, delineamento experimental e condições de cultivo

O experimento foi realizado em casa de vegetação na área experimental do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB),

Cruz das Almas, Bahia (12° 40' 19" de latitude Sul, 39° 06' 23" de longitude Oeste e altitude média de 220 m).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, em um esquema fatorial 2×4 : dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa) (0,3 e 5,0 dS m⁻¹ com adição de NaCl) combinados com quatro concentrações das soluções nutritivas (CSN) (25, 50, 75 e 100%) usando a formulação de macronutrientes de Furlani et al. (1999) para hortaliças folhosas, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição dos tratamentos, composição das soluções nutritivas e valores finais de condutividade elétrica das soluções (CEsol) para o cultivo da moringa

CEa (dS m ⁻¹)	CSN (%)	Composição da solução nutritiva (mg L ⁻¹)	CEsol (dS m ⁻¹)
0,3	25	Ca(NO ₃) ₂ = 187,5; KNO ₃ = 125; MAP = 37,5; MgSO ₄ =	0,88
5,0	25	100; mix micronutrientes = 6,25; ferro = 4	5,56
0,3	50	Ca(NO ₃) ₂ = 375; KNO ₃ = 250; MAP = 75; MgSO ₄ = 200;	1,33
5,0	50	mix micronutrientes = 12,5; ferro = 8	5,94
0,3	75	Ca(NO ₃) ₂ = 562,5; KNO ₃ = 375; MAP = 112,5; MgSO ₄ =	1,88
5,0	75	300; mix micronutrientes = 18,75; ferro = 12	6,40
0,3	100	Ca(NO ₃) ₂ = 750, KNO ₃ = 500, MAP = 150, MgSO ₄ = 400,	2,35
5,0	100	mix micronutrientes = 25; ferro = 16	6,82

Ca(NO₃)₂ – nitrato de cálcio; KNO₃ – nitrato de potássio; MAP – fosfato monoamônico; MgSO₄ – sulfato de magnésio.

Em 06/02/2024, foram colhidas vagens secas de plantas de moringa no Campus da UFRB. Após a colheita, as vagens foram levadas para uma casa de vegetação, onde permaneceram por uma semana. Durante esse período, as sementes foram extraídas das vagens e mantidas sob as mesmas condições ambientais até o momento da semeadura, que foi realizada em 13/03/2024. A semeadura foi realizada em papel toalha umedecido com água do abastecimento local (CEa de 0,3 dS m⁻¹). As irrigações ocorreram com a mesma água por 13 dias, quando as mudas foram transplantadas para o sistema hidropônico. As mudas apresentavam, em média, 18,5 cm de altura, 6,5 cm de comprimento radicular, 2,4 mm de diâmetro do caule e quatro folhas.

O cultivo foi realizado no sistema floating (em vasos plásticos com capacidade para 2 L de solução nutritiva). Os vasos foram dispostos em uma bancada metálica, distanciados 0,25 m entre si. Os vasos foram revestidos com fita alumínio para evitar o aquecimento das soluções e proliferação de algas. As soluções nutritivas foram oxigenadas a cada duas horas com uma duração de 15 min. Para isso, um sistema de aeração foi instalado sobre a bancada, consistindo de tubulação de 20 mm, na qual, foram conectados microtubos para fornecer ar em cada vaso. Foi usado um compressor de ar, o qual foi acionado por um temporizador analógico.

Os níveis de CEa de 0,3 e 5,0 dS m⁻¹ foram obtidos pela adição de NaCl em água deionizada (dissolvendo-se 0,154 e 2,961 g

L⁻¹, respectivamente). O nível de CEa de 0,3 dS m⁻¹ foi similar ao nível da água do abastecimento local. O nível de 5,0 dS m⁻¹ foi selecionado por corresponder ao tratamento de maior salinidade utilizado no estudo de Oliveira et al. (2013) com a moringa. Após o preparo das águas, os sais nutrientes foram adicionados nas mesmas conforme a concentração testada (Tabela 1). Os micronutrientes e o ferro (13% Fe-EDTA) foram fornecidos pelos compostos Micromix[®] e GeoQuel[®], respectivamente (Rigrantec Tecnologias para Sementes e Plantas Ltda., Porto Alegre, RS, Brasil). Após o preparo das soluções, os valores de CEsol foram mensurados conforme apresentados na Tabela 1. A cada cinco dias, os valores de CEsol foram medidos usando condutivímetro de bancada modelo DM-3P (Digimed Analítica Ltda., São Paulo, Brasil). Ao longo do experimento, a reposição do volume consumido pelas plantas foi realizada com água deionizada.

Variáveis avaliadas

Aos 10, 15 e 20 dias após o transplântio (DAT) foram realizadas avaliações não destrutivas nas plantas de moringa, como altura de planta (AP, cm), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC, mm) e os índices das clorofilas *a* (ICla) e *b* (IClb). Os índices das clorofilas foram medidos na terceira folha totalmente expandida do ápice da planta, expressos como índice de clorofila Falker (ICF). As medições ocorreram entre 8:00 e 9:00 h da manhã. Em cada folha foram realizadas três medições (posteriormente foi calculada uma média) usando um medidor portátil ClorofiLOG[®] CFL1030 (Falker, Porto Alegre, RS, Brasil).

Aos 15 DAT, foram realizadas medições das concentrações de oxigênio dissolvido (OD, mg L⁻¹) nas soluções nutritivas usando um oxímetro modelo HI 98193 (Hanna Instruments Inc.; Woonsocket, Rhode Island, EUA), entre 8:00 e 9:00 h da manhã.

As plantas de moringa foram colhidas aos 25 DAT. Além das variáveis determinadas nas avaliações anteriores (AP,

NF, DC, ICl_a e ICl_b), as plantas foram separadas em folhas e caule. A massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA, g por planta) foi obtida pelo somatório das massas das folhas e caule. Imediatamente após a pesagem das plantas frescas, o material foi colocado em sacos de papel e seco em estufa de ar forçado (Quimis[®], Diadema, SP, Brasil) a 65°C até atingir peso constante para quantificar a massa seca das folhas e caule. A massa de matéria seca da parte aérea (MSPA, g por planta) foi obtida pelo somatório das massas das folhas e caule.

Foram determinados os teores de sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cloreto (Cl⁻) e a razão Na⁺/K⁺ nas folhas e caule. Para isso, o material vegetal seco foi triturado e 0,1 g foi adicionado em tubo contendo 10 mL de água deionizada. Os tubos foram aquecidos a 100°C em banho-maria por 1 h, com agitações a cada 15 min. Os sobrenadantes foram filtrados em papel filtro para posterior análise. Os extratos foram preparados de acordo com Jones Jr. (2001). Os teores de Na⁺ e K⁺ foram determinados em fotômetro de chama modelo BFC – 300 (Benfer, São Paulo, SP, Brasil). O teor de Cl⁻ foi determinado em espectrofotômetro UV VIS modelo SP-2000UV (Bel Equipamentos Analíticos Ltda., Piracicaba, SP, Brasil).

Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância. As médias obtidas em função dos níveis de CEa foram comparadas usando o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Análise de regressão foi usada para os dados obtidos em função das concentrações das soluções nutritivas. As análises estatísticas foram realizadas usando o programa Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011).

Resultados

Na Figura 1, são apresentadas as plantas de moringa cultivadas sob dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa de 0,3 e 5,0 dS m⁻¹) e quatro concentrações distintas de soluções nutritivas, no dia da

colheita (realizada aos 25 dias após o transplântio – DAT), evidenciando as diferenças morfológicas entre os tratamentos. Já na Figura 2, estão representados os valores de condutividade

elétrica das soluções nutritivas (CEsol) verificados ao longo do experimento, bem como as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) registradas aos 15 DAT.

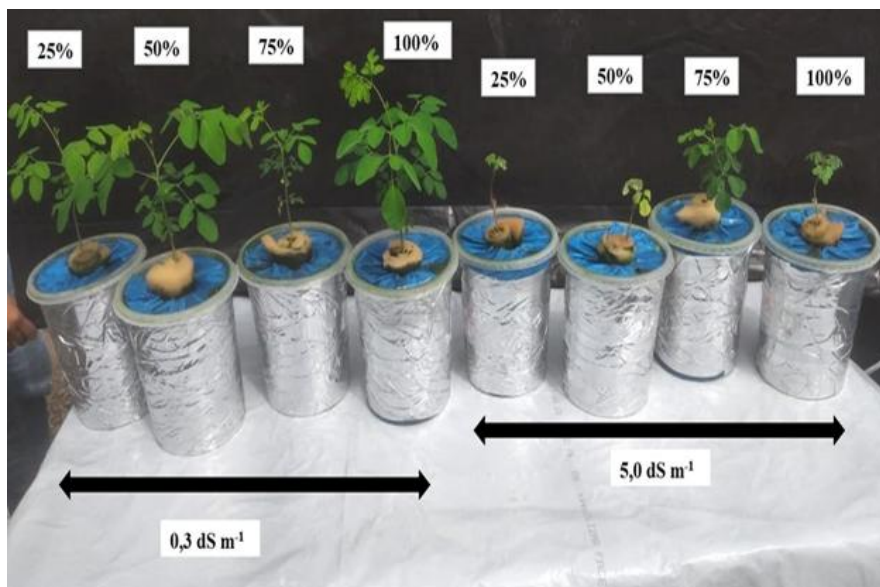
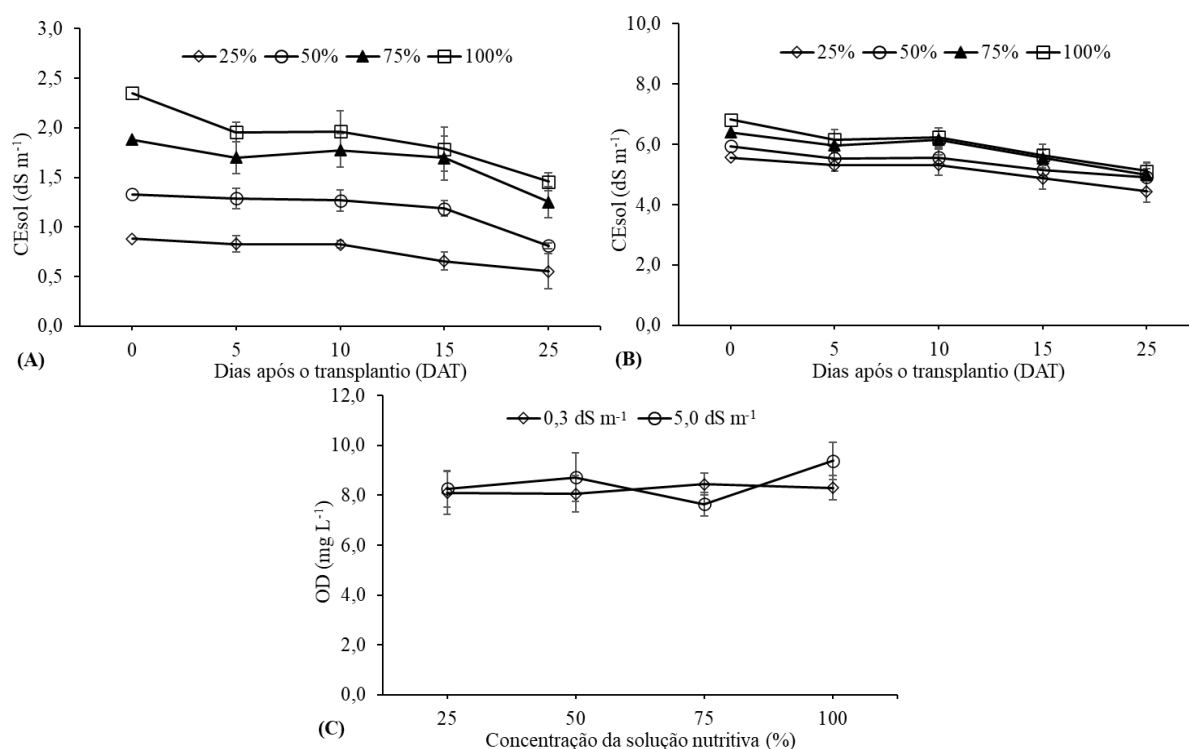


Figura 1: Aspecto geral das plantas de moringa na colheita, aos 25 dias após o transplântio.



As barras de erros representam a média $\pm$ desvio padrão ($n = 4$).

Figura 2: Valores de condutividade elétrica das soluções nutritivas (CEsol) sob cultivo sem estresse salino (CEa de 0,3 dS m⁻¹) (A) e com estresse salino (CEa de 5,0 dS m⁻¹) (B) ao longo do experimento e concentrações de oxigênio dissolvido (OD) na solução nutritiva (C).

Como esperado, os valores de CE_{sol} diminuíram ao longo do experimento, com declínio mais acentuado nas plantas cultivadas sob condição sem estresse salino (CE_a de 0,3 dS m⁻¹). Entre o início e o final do período experimental, as reduções nos valores de CE_{sol} foram de 37, 39, 33 e 38% sob cultivo com soluções nas concentrações de 25, 50, 75 e 100%, respectivamente (Figura 2A). Por outro lado, sob cultivo com estresse salino (CE_a de 5,0 dS m⁻¹) (Figura 2B), as reduções foram menos pronunciadas (20, 17, 22 e 25%, respectivamente), refletindo o menor consumo hídrico das plantas submetidas a essa condição.

Os valores de OD apresentaram variação de 8,04 a 8,45 mg L⁻¹ nas plantas cultivadas com CE_a de 0,3 dS m⁻¹, enquanto sob estresse salino (CE_a de 5,0 dS m⁻¹) a amplitude foi maior, variando entre 7,65 e 9,38 mg L⁻¹ (Figura 2C).

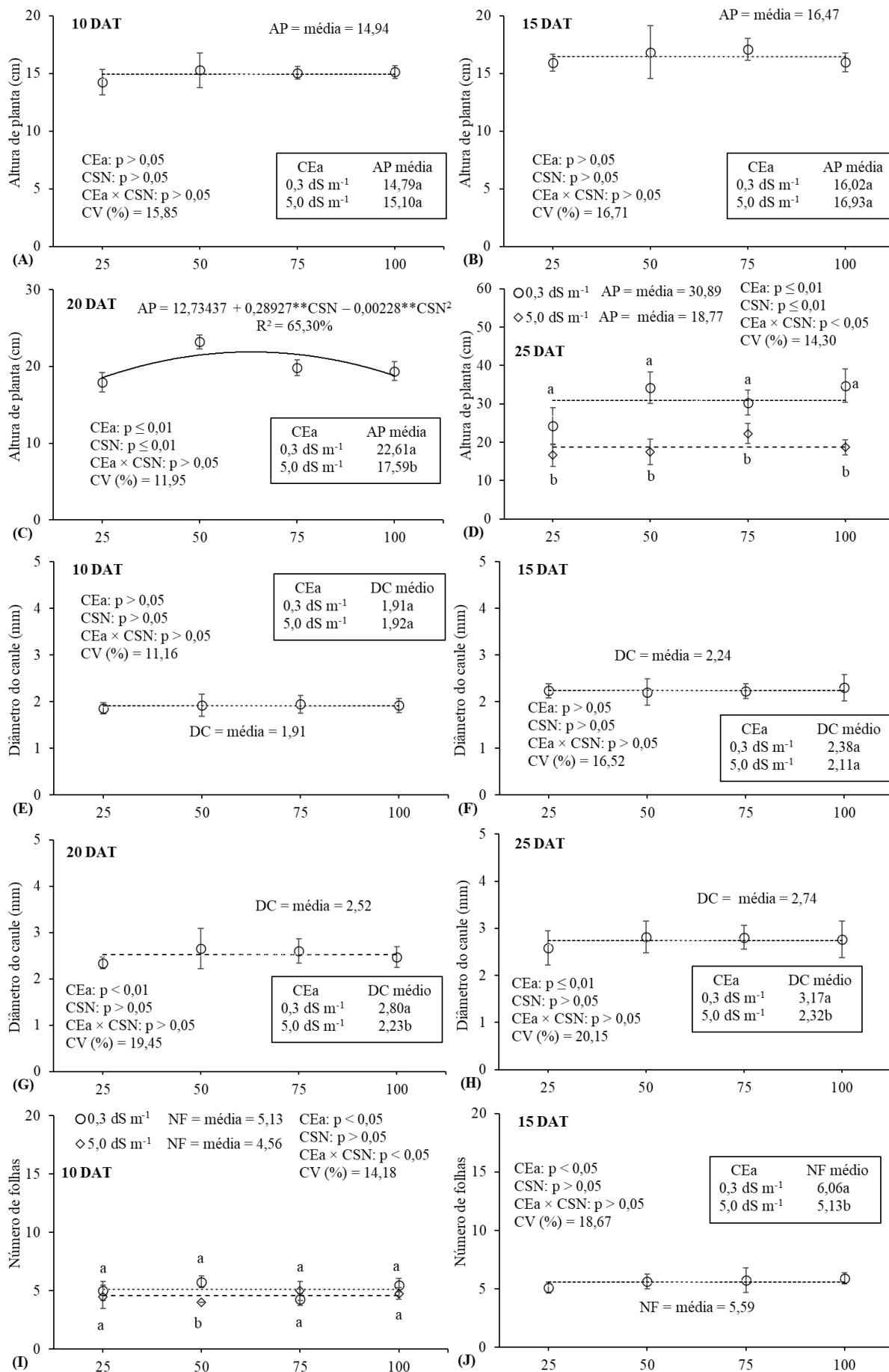
Nas avaliações de crescimento realizadas aos 10 e 15 dias após o transplântio (DAT) para a altura de planta – AP (Figuras 3A e 3B) e o diâmetro do caule – DC (Figuras 3E e 3F), não foi observado efeito significativo ($p > 0,05$) dos fatores estudados, tanto isoladamente quanto em sua interação. Os valores médios observados foram de 14,94 e 16,47 cm para a AP e de 1,91 e 2,24 mm para o DC, respectivamente, nas avaliações realizadas.

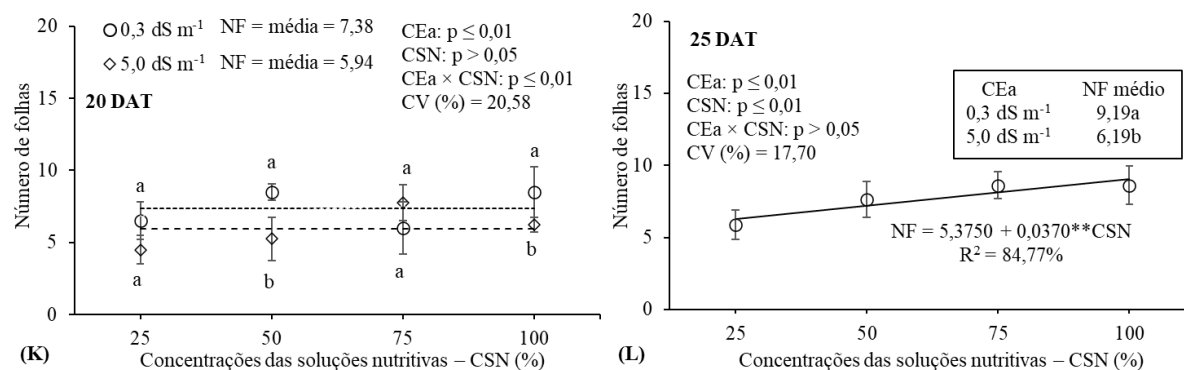
Aos 20 DAT (Figura 3C), a AP apresentou variações significativas em resposta aos níveis de CE_a e concentrações das soluções nutritivas (CSN). Em relação à CSN, os dados seguiram um modelo de regressão quadrática, com AP máxima estimada (21,91 cm) obtida na concentração de 63,44%. Quanto à CE_a, a maior média de AP (22,61 cm) foi observada no tratamento sem estresse salino (CE_a de 0,3 dS m⁻¹). Aos 25 DAT (Figura 3D), foi detectada uma interação significativa entre os fatores estudados (CE_a e CSN). Entretanto, os dados não se ajustaram a modelos matemáticos testados em nenhum dos níveis de CE_a avaliados (0,3 e 5,0 dS m⁻¹),

com médias de AP de 30,89 e 18,77 cm, respectivamente. Na análise do desdobramento dos níveis de CE_a dentro de cada CSN confirmou o comportamento observado aos 20 DAT, com as maiores médias de AP registradas na ausência de estresse salino.

De forma consistente com as avaliações iniciais (10 e 15 DAT), o DC não foi afetado significativamente ($p > 0,05$) pelos níveis de CSN aos 20 DAT (Figura 3G) e 25 DAT (Figura 3H). Contudo, observou-se efeito significativo dos níveis de CE_a sobre esta variável em ambas as avaliações. Assim como observado para a AP, o DC apresentou maiores valores médios na ausência de estresse salino (CE_a de 0,3 dS m⁻¹), atingindo 2,80 mm aos 20 DAT e 3,17 mm aos 25 DAT, reforçando o padrão de crescimento superior nas condições não salinas.

Quanto ao número de folhas (NF), observou-se um comportamento distinto de respostas ao longo do ciclo. Aos 10 e 20 DAT (Figuras 3I e 3K, respectivamente), verificou-se interação significativa entre os fatores avaliados (CE_a e CSN). Aos 15 DAT (Figura 3J), apenas os níveis de CE_a influenciaram significativamente o NF, com maior média registrada na ausência de estresse salino. Por outro lado, aos 25 DAT (Figura 3L), houve efeito isolado para os fatores avaliados. Tanto aos 10 DAT quanto aos 20 DAT, os dados de NF não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado. Na análise dos níveis de CE_a dentro de cada CSN, apenas o tratamento com 50% de CSN apresentou NF significativamente maior na condição sem estresse salino aos 10 DAT. Enquanto aos 20 DAT, as plantas cultivadas sem estresse salino apresentaram maior NF nas concentrações de 50 e 100%. Aos 25 DAT, o maior NF foi obtido sob cultivo sem estresse salino em relação às condições com estresse salino; enquanto em resposta à CSN, o NF exibiu um incremento linear.





Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ** – significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste t de Student. As barras de erros representam a média $\pm$ desvio padrão ($n = 4$).

Figura 3: Altura de planta – AP (A-D), diâmetro do caule – DC (E-H) e número de folhas – NF (I-L) da moringa cultivada sob níveis de condutividade elétrica da água (CEa) e concentrações das soluções nutritivas (CSN) em hidroponia floating.

A análise do índice de clorofila *a* (ICla) revelou uma interação significativa entre os fatores estudados (CEa e CSN) em todas as avaliações realizadas (10, 15, 20 e 25 DAT), conforme demonstrado nas Figuras 4A, 4B, 4C e 4D, respectivamente. Sob condições não salinas (CEa de 0,3 dS m⁻¹), observou-se uma resposta diferenciada do ICl_a ao longo do ciclo. Aos 10 DAT, o valor máximo de ICl_a (33,46 ICF – índice de clorofila Falker) foi estimado na CSN de 71,35%; enquanto aos 20 DAT, verificou-se aumento nos valores de ICl_a à medida em que a CSN incrementou, variando entre 31,29 e 36,45 ICF nas concentrações de 25 e 100%, respectivamente. Em contraste com os outros períodos avaliados, aos 15 e 25 DAT os dados de ICl_a não apresentaram ajuste satisfatório a nenhum modelo matemático testado.

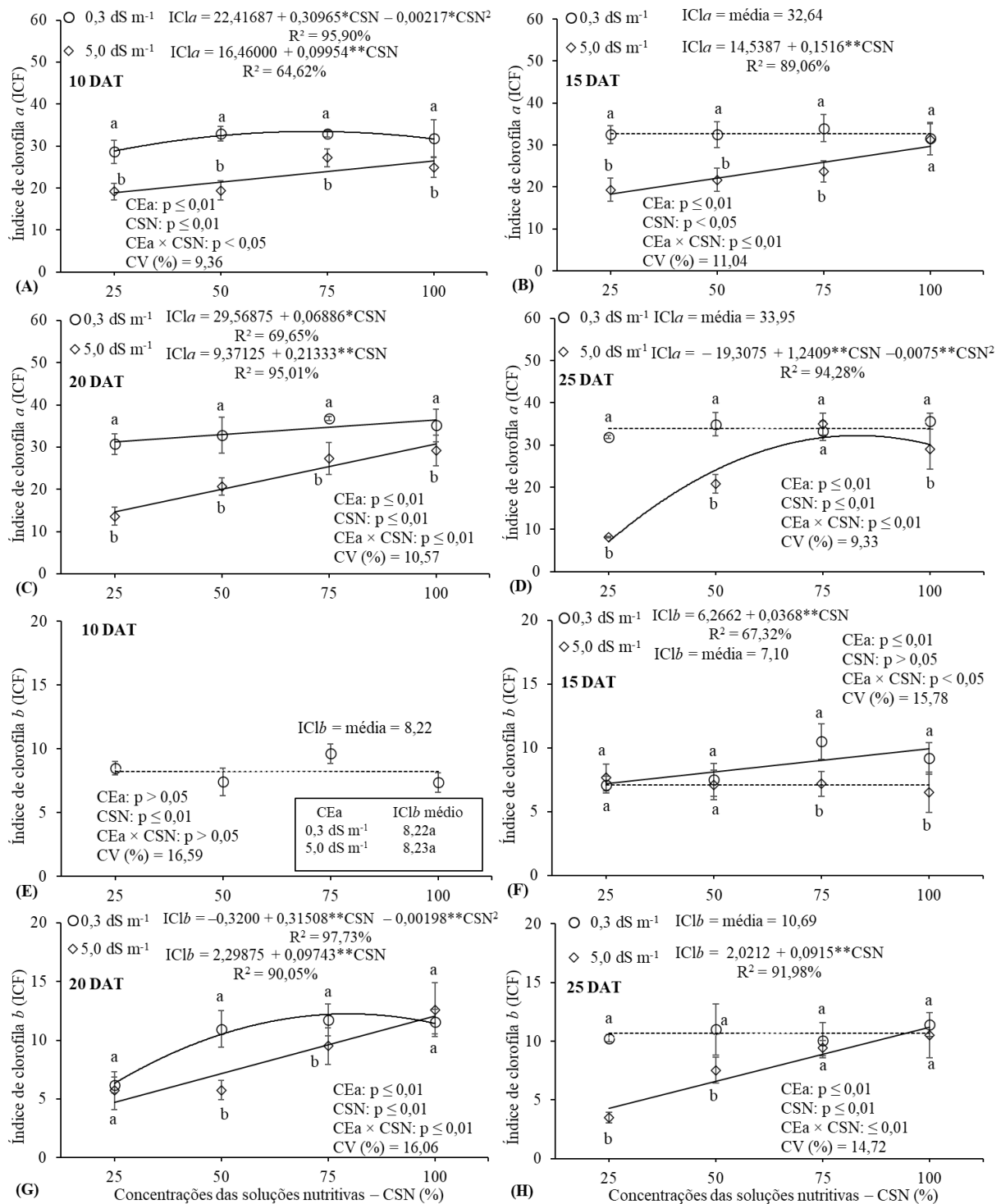
Sob estresse salino (CEa de 5,0 dS m⁻¹), os valores de ICl_a aumentaram linearmente aos 10, 15 e 20 DAT (Figuras 4A, 4B e 4C, respectivamente). Os valores variaram entre 18,95 e 26,41 ICF (10 DAT); 18,33 e 29,70 ICF (15 DAT) e 14,70 e 30,70 ICF (20 DAT) sob cultivo nas concentrações de 25 e 100%, respectivamente. Aos 25 DAT, o valor máximo de ICl_a (32,02 ICF) foi estimado na CSN de 82,73%. Na análise do desdobramento dos níveis de CEa dentro de cada CSN, aos 10 e 20 DAT as maiores médias do ICl_a foram registradas sem estresse salino independentemente da CSN. Aos 15 e 25 DAT, as médias obtidas nos

tratamentos sem e com estresse salino não diferem significativamente nas concentrações 100 e 75%, respectivamente.

Para o índice de clorofila *b* (IClb), observou-se efeito significativo exclusivamente da CSN aos 10 DAT (Figura 4E). Os dados não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado, com valor médio de 8,22 ICF. Aos 15, 20 e 25 DAT (Figuras 4F, 4G e 4H, respectivamente), constatou-se uma interação significativa entre os fatores avaliados (CEa e CSN) sobre o ICl_b. Especificamente aos 15 DAT, no tratamento sem estresse salino (CEa de 0,3 dS m⁻¹), os valores do ICl_b aumentaram à medida em que houve elevação da CSN, variando entre 7,19 e 9,95 ICF nas concentrações de 25 e 100%, respectivamente. Em contraste, sob estresse salino (CEa de 5,0 dS m⁻¹), os dados não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado (média de 7,10 ICF).

Aos 20 DAT, o máximo valor do ICl_b foi estimado na CSN de 79,57% (12,21 ICF) sob cultivo sem estresse salino. Enquanto sob estresse salino, os valores aumentaram linearmente, variando entre 4,73 e 12,04 ICF nas concentrações de 25 e 100%, respectivamente. Aos 25 DAT, no cultivo sem estresse salino os dados de ICl_b não apresentaram ajuste a nenhum modelo matemático testado (média de 10,69 ICF); enquanto sob estresse salino, verificou-se uma resposta positiva à nutrição, com

valores variando entre 4,31 e 11,17 ICF nas concentrações de 25 e 100%, respectivamente.



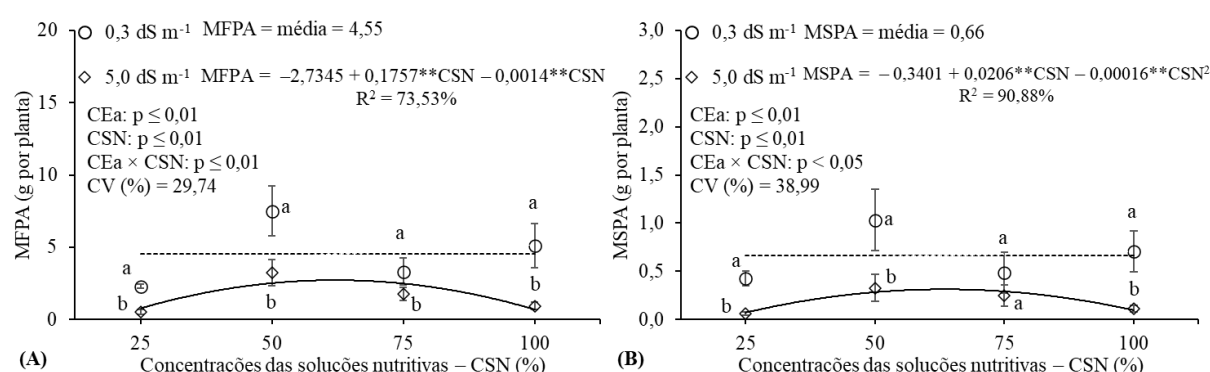
Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); * e * – significativo a $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente, pelo teste t de Student. As barras de erros representam a média $\pm$ desvio padrão ($n = 4$).

Figura 4: Índice de clorofila a – ICl_a (A-D) e índice de clorofila b – ICl_b (E-H) da moringa cultivada sob níveis de condutividade elétrica da água (CEa) e concentrações das soluções nutritivas (CSN) em hidroponia floating.

Na análise do desdobramento dos níveis de CEa dentro de cada CSN, os valores de IClb variaram de acordo a época de avaliação. Por exemplo, aos 15 DAT não houve diferença significativa entre os tratamentos com e sem estresse salino nas concentrações de 25 e 50% (Figura 4F). Comportamento semelhante foi observado aos 20 DAT nas concentrações de 25 e 100% (Figura 4G) e aos 25 DAT com 75 e 100% de CSN (Figura 4H).

Houve interação significativa entre os fatores avaliados (CEa e CSN) tanto para a massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA) (Figura 5A) quanto para a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) (Figura 5B). Sob cultivo nas condições sem estresse salino, os dados de MFPA e MSPA não apresentaram ajuste satisfatório a

nenhum dos modelos matemáticos testados, com valores médios de 4,55 e 0,66 g por planta, respectivamente. Sob estresse salino, os modelos de regressão indicaram máxima produção de MFPA (2,78 g por planta) na CSN de 62,75%, enquanto a produção máxima de MSPA (0,32 g por planta) foi estimada na CSN de 64,38%. Na análise do desdobramento dos níveis de CEa dentro de cada CSN, observou-se que as maiores médias de MFPA ocorreram consistentemente no tratamento sem estresse salino, independentemente da CSN aplicada. Para MSPA, observou-se que apenas na concentração de 75% não houve diferença significativa entre os tratamentos com e sem estresse salino.

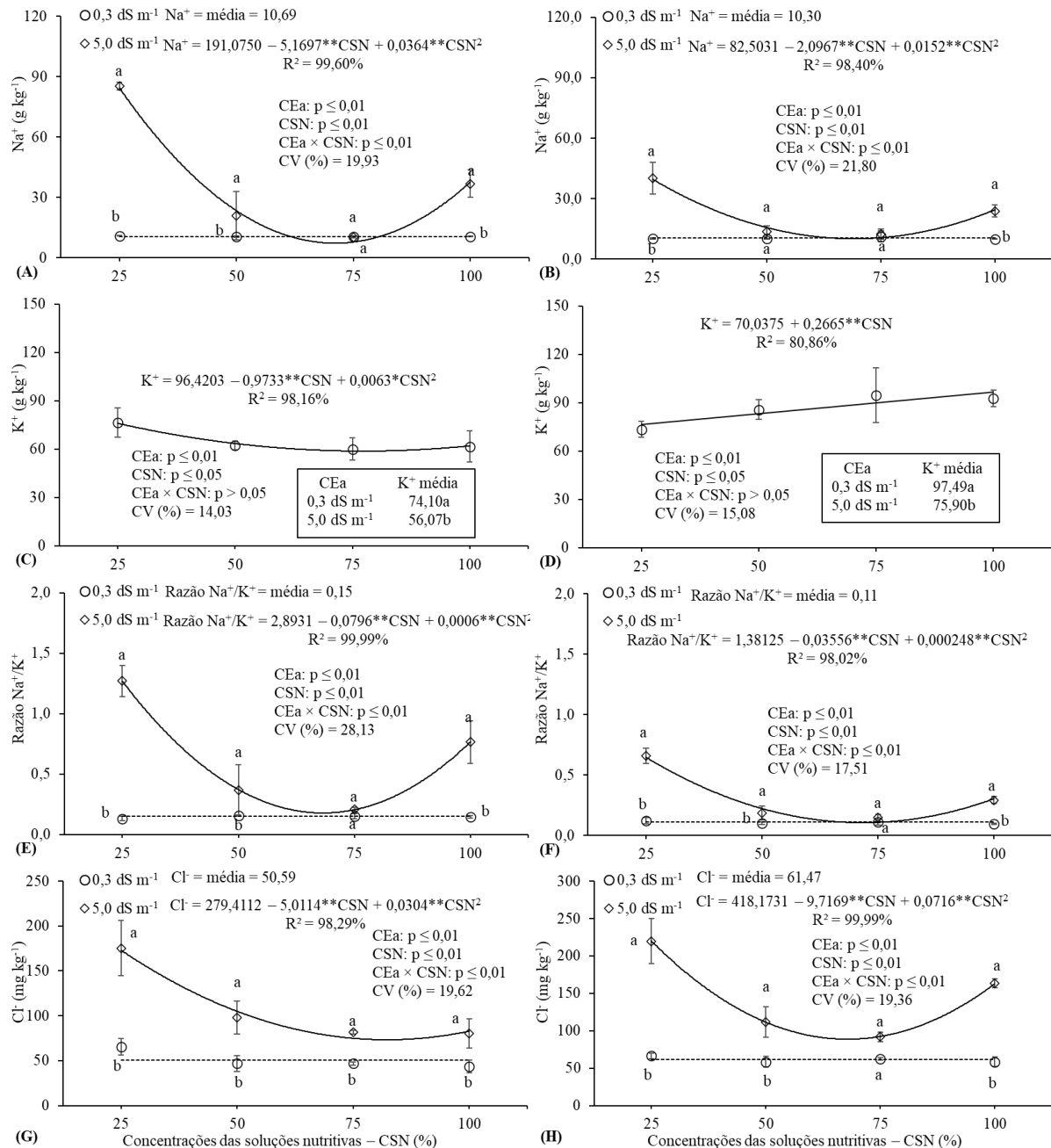


Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ** – significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste t de Student. As barras de erros representam a média $\pm$ desvio padrão ($n = 4$).

Figura 5: Massas de matéria fresca – MFPA (A) e seca da parte aérea – MSPA (B) da moringa cultivada sob níveis de condutividade elétrica da água (CEa) e concentrações das soluções nutritivas (CSN) em hidroponia floating, aos 25 dias após o transplântio.

Os resultados demonstraram uma interação significativa entre os fatores avaliados (CEa e CSN) sobre os teores de sódio (Na⁺) tanto nas folhas (Figura 6A) quanto no caule (Figura 6B). Sob cultivo sem estresse salino (CEa de 0,3 dS m⁻¹), os dados de Na⁺ não apresentaram ajuste satisfatório a nenhum dos modelos matemáticos testados, com valores médios de 10,69 e 10,30 g kg⁻¹ para folhas e caule, respectivamente. Em condições de cultivo sob estresse salino (CEa de 5,0 dS m⁻¹), os maiores teores de Na⁺ foram observados na menor CSN (25%), atingindo valores de 84,58 g kg⁻¹ nas folhas e 39,59 g kg⁻¹ no

caule, respectivamente. Já os teores mínimos de Na⁺ foram estimados em 7,52 g kg⁻¹ nas folhas (com 71,01% de CSN) e 10,20 g kg⁻¹ no caule (com 68,97% de CSN). Na análise do desdobramento dos níveis de CEa dentro de cada CSN, revelou que apenas na CSN de 75% não houve diferença significativa nos teores foliares de Na⁺ entre os tratamentos com e sem estresse salino. Nos demais níveis de CSN, os maiores teores de Na⁺ foram registrados sob estresse salino. Para os teores de Na⁺ no caule, registraram-se maiores acúmulos sob estresse salino nas concentrações de 25 e 100%.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ** e * – significativo a $p \leq 0,01$ e a $p \leq 0,05$, respectivamente, segundo o teste t de Student. As barras de erros representam a média $\pm$ desvio padrão ($n = 4$).

Figura 6: Teores de sódio – Na⁺ (A e B), potássio – K⁺ (C e D), razão Na⁺/K⁺ (E e F) e cloreto – Cl⁻ (G e H), respectivamente, nas folhas e caule da moringa cultivada sob níveis de condutividade elétrica da água (CEa) e concentrações das soluções nutritivas (CSN) em hidroponia floating.

Na análise dos teores de potássio (K⁺), observou-se efeito significativo isolado dos fatores avaliados tanto nas folhas (Figura 6C) quanto no caule (Figura 6D). O teor máximo de K⁺ nas folhas foi observado na menor CSN (25%), atingindo 76,03 g kg⁻¹; enquanto, o valor mínimo (58,83 g kg⁻¹) foi

estimado na CSN de 77,25%. Quanto ao acúmulo de K⁺ no caule, verificou-se um incremento linear diretamente proporcional aos níveis de CSN, com valores variando de 76,70 (CSN de 25%) a 96,69 g kg⁻¹ (CSN de 100%). Em condições de cultivo sem estresse salino, os teores de K⁺ foram

significativamente maiores, registrando incrementos de aproximadamente 32% nas folhas e 28% no caule quando comparados aos valores obtidos sob condições de estresse salino.

A razão Na^+/K^+ exibiu um comportamento similar ao observado para os teores de Na^+ , demonstrando interação significativa tanto nas folhas (Figura 6E) quanto no caule (Figura 6F). Para os teores de Cl^- , observou-se interação significativa tanto para as folhas (Figura 6G) quanto para o caule (Figura 6H). Sob cultivo sem estresse salino, os teores de Cl^- não apresentaram ajuste satisfatório a nenhum dos modelos matemáticos testados, com valores médios de 50,59 e 61,47 mg kg^{-1} para folhas e caule, respectivamente. Em condições de cultivo sob estresse salino, os maiores teores de Cl^- foram observados na menor CSN (25%), atingindo valores de 173,13 mg kg^{-1} nas folhas e 220,00 mg kg^{-1} no caule, respectivamente. Já os teores mínimos de Cl^- foram estimados em 72,88 mg kg^{-1} nas folhas (com 82,42% de CSN) e 88,50 mg kg^{-1} no caule (com 67,86% de CSN). Os resultados demonstraram que, independentemente da CSN, os teores foliares de Cl^- foram significativamente maiores sob condições de estresse salino. No caule, contudo, apenas na CSN de 75% não foi observada diferença significativa entre os tratamentos com e sem estresse salino.

Discussão

Em sistemas hidropônicos, as plantas apresentam maior eficiência produtiva sob estresse salino induzido por águas salobras quando comparadas ao cultivo em solo convencional, gerando maior produção absoluta, embora isso não implique necessariamente em maior tolerância fisiológica aos sais (Cova et al., 2024). Contudo, a magnitude da resposta fisiológica das plantas varia significativamente em função da condutividade elétrica da água (CEa). Quando submetidas a níveis elevados de CEa, as plantas geralmente apresentam

redução no crescimento vegetativo e, como consequência direta, diminuição na produção de biomassa.

A adição de sais nutrientes às águas salobras no preparo das soluções nutritivas reduz ainda mais o potencial osmótico (tornando-o mais negativo), restringindo a absorção de água pelas plantas e comprometendo seu desenvolvimento (Al Meselmani, 2022; Cova et al., 2024). No presente estudo, como esperado, o estresse salino influenciou significativamente os parâmetros biométricos do crescimento inicial da moringa, com variações na magnitude dos efeitos conforme o período de avaliação. O número de folhas (NF) (Figuras 3I-L) foi mais sensível ao estresse salino que a altura de planta (AP) (Figuras 3A-D) e o diâmetro do caule (DC) (Figuras 3E-H). Destaca-se ainda que, até os 15 dias de exposição, tanto a AP quanto o DC não apresentaram alterações significativas em resposta ao estresse salino. Entretanto, aos 25 DAT, constatou-se um contraste marcante. Em condições não salinas, as plantas continuaram a produzir novas folhas; enquanto sob estresse salino, houve estagnação no desenvolvimento foliar, evidenciando o impacto negativo dos sais sobre as plantas da moringa.

Portanto, o efeito do estresse salino no crescimento inicial da moringa apresenta dependência temporal, com respostas fisiológicas variáveis em função tanto da concentração salina quanto do período de exposição, conforme demonstrado em vários estudos com essa espécie (Nouman et al., 2012; Oliveira et al., 2013; Azeem et al., 2023; Rodrigues et al., 2025). Oliveira et al. (2009) avaliaram o crescimento inicial da moringa (aos 25 dias após a semeadura) sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (CEa de 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0 dS m^{-1}), obtidos mediante mistura de água doce (0,5 dS m^{-1}) e salobra (6,0 dS m^{-1}) oriundas de dois poços distintos. O estudo, conduzido em casa de vegetação sob semeio em bandejas contendo areia lavada como substrato, demonstrou que o aumento da salinidade reduziu significativamente a AP,

o NF e a área foliar. Já os resultados reportados por Silva et al. (2024a) foram contrastantes. Naquele estudo, avaliaram-se os efeitos da irrigação com águas salobras de poços (CEa de 6,16 e 7,07 dS m⁻¹) na germinação de sementes de moringa, por um período de 15 dias. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com semeadura em bandejas contendo substrato composto por palha de carnaúba, arisco e adubo orgânico na proporção 2:1:1 (base volume). Os resultados demonstraram que nem o NF nem o DC apresentaram respostas significativas às condições de estresse salino testadas.

A principal hipótese levantada no presente estudo foi que, as concentrações máximas padronizadas de nutrientes em soluções nutritivas (originalmente desenvolvidas para águas de baixa salinidade) podem ser reduzidas quando se utilizam águas salobras no cultivo de espécies vegetais. Tomando como base as massas de matéria fresca (MFPA) (Figura 5A) e seca da parte aérea (MSPA) (Figura 5B), essa hipótese foi confirmada sob as condições experimentais adotadas neste estudo. Os maiores acúmulos de biomassa sob condições com estresse salino foram observados em soluções nutritivas com concentrações entre 63 e 64%. Portanto, verifica-se um duplo benefício: a redução do efeito osmótico sobre as plantas e o menor custo com os nutrientes utilizados no preparo das soluções nutritivas. Estudos dessa natureza ainda são escassos na literatura, o que confere ao presente trabalho relevância como base promissora para pesquisas futuras sobre a temática.

Observa-se ainda que, embora os dados de MFPA e MSPA em condições sem estresse salino não tenham apresentado ajuste satisfatório a nenhum dos modelos matemáticos testados, a concentração de 50% demonstrou a maior média absoluta. Esses resultados sugerem que é possível reduzir a concentração de nutrientes na solução nutritiva na fase inicial de produção de mudas quando se utiliza água de baixa salinidade.

A análise dos índices de clorofila *a* (ICla) revelou padrões distintos ao longo das quatro avaliações realizadas. Este índice consiste em uma medição não destrutiva e instantânea realizada diretamente nas folhas das plantas; portanto, refletindo o estado fisiológico momentâneo do vegetal durante cada avaliação. Observou-se que nas avaliações realizadas aos 10, 15 e 20 DAT, os valores de ICl_a apresentaram incremento proporcional ao aumento das concentrações das soluções nutritivas (CSN). Exceto para 15 DAT na concentração de 100% (sem variação significativa pelos níveis de CEa), todos os demais tratamentos sob estresse salino apresentaram médias inferiores ao controle não estressado nos diferentes períodos avaliados. Já aos 25 DAT, o ICl_a atingiu seu valor máximo na CSN de aproximadamente 83%, ponto em que não apresentou diferença significativa em relação ao tratamento controle sem estresse salino. Diversos estudos na literatura têm reportado que, os valores de ICl_a podem se manter ou mesmo aumentar sob condições de cultivo com estresse salino (Silva et al., 2017; Silva et al., 2024b; Rodrigues et al., 2025). Os resultados de Rodrigues et al. (2025) corroboram a hipótese de manutenção da eficiência fotossintética, cuja preservação estaria associada à indução de sistemas antioxidantes, mecanismo este fundamental para a adaptação das plantas a ambientes com estresse salino. Ainda de acordo com os autores, o aumento no ICl_a se deve à ativação de mecanismos de defesa que melhoram a aclimação da planta em condições de estresse, como a síntese de osmólitos e a regulação hormonal, que podem estimular a produção de clorofila *a* para maximizar a eficiência fotossintética.

Para a análise dos índices de clorofila *b* (IClb) (Figuras 4E-H), observaram-se padrões ainda mais distintos entre as quatro avaliações realizadas. Por exemplo, em combinações específicas de CSN e período de avaliação (25 e 50% aos 15 DAT; 25 e 100% aos 20 DAT; 75 e 100% aos 25 DAT), os valores de ICl_b foram

estatisticamente similares para as plantas cultivadas com e sem estresse salino.

O estresse salino compromete significativamente a homeostase iônica celular (El Sabagh et al., 2021). O acúmulo excessivo de íons, particularmente de sódio (Na^+), pode desestabilizar a integridade das membranas celulares, promover a degradação de estruturas proteicas e intensificar os efeitos tóxicos sobre o metabolismo vegetal (Kumar et al., 2020; Laka et al., 2024; Santos et al., 2025). O acúmulo de Na^+ nos tecidos foliares promove uma redução concomitante dos teores de potássio (K^+) e cálcio (Ca^{2+}). Portanto, o crescimento das plantas em condições de estresse salino é melhorado pelo aumento de K^+ , remoção seletiva de Na^+ ou regulação da razão Na^+/K^+ (El Sabagh et al., 2021; Atta et al., 2023).

Os resultados do presente estudo revelaram padrões distintos de acúmulo de Na^+ em folhas e caule em resposta ao incremento da CSN. Na menor CSN testada (25%), as folhas apresentaram teores de Na^+ 2,14 vezes superiores aos do caule. Essa diferença diminuiu para 1,50 vez na CSN de 50%, invertendo-se progressivamente até a CSN de 75%, onde o caule passou a acumular mais Na^+ . Contudo, na máxima concentração (100%), as folhas voltaram a exibir maior acúmulo, com valor 1,53 vez superior ao do caule. Os teores de Na^+ diminuíram de tal forma que, atingiram níveis estatisticamente equivalentes ao tratamento controle sem estresse salino (CSN de 75% nas folhas; CSN de 50 e 75% no caule).

Esses resultados estão em concordância com os dados de MSPA, que indicaram a produção máxima com uma CSN de aproximadamente 64%. Além disso, observou-se que na CSN de 75%, as médias de MSPA dos tratamentos com e sem estresse salino não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (Figura 5B). O maior acúmulo de biomassa sob essas condições resultou no efeito de diluição, no qual o teor de Na^+ foi diluído na biomassa vegetal em expansão, uma vez que a planta

manteve seu crescimento mesmo sob estresse salino (Hao et al., 2021; Fu et al., 2025).

O comportamento observado neste estudo sugere a ativação de um mecanismo de tolerância à salinidade em *Moringa oleifera*, caracterizado pela retranslocação preferencial de Na^+ das folhas para o caule. Esses achados corroboram com estudos anteriores com essa mesma espécie (Silva et al., 2017; Azeem et al., 2023). No estudo de Silva et al. (2017), as plantas de moringa foram irrigadas com soluções nutritivas à 50% (Hoagland e Arnon, 1950) contendo concentrações crescentes de NaCl (40, 80 e 120 mM, correspondendo aos níveis de condutividade elétrica de 4,49; 7,50 e 11,5 dS m^{-1} , respectivamente). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se vasos preenchidos com areia como substrato. As avaliações foram realizadas aos 15 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos, a fim de monitorar os efeitos da salinidade ao longo do tempo. De acordo com os resultados, os teores de Na^+ nos tecidos vegetais variaram de acordo com o órgão analisado (folhas, caule e raízes) e da intensidade do estresse salino. Nas folhas, observou-se um incremento linear nos teores de Na^+ em resposta ao aumento da salinidade, padrão esse mantido em ambas as avaliações (15 e 30 dias). No caule, verificou-se comportamento semelhante, exceto no tratamento com a maior concentração de NaCl (120 mM), onde os teores de Na^+ se estabilizaram, demonstrando equilíbrio iônico nas duas épocas de avaliação. Aos 30 dias de tratamento, observou-se um padrão distinto de distribuição de Na^+ entre os órgãos vegetais. Na menor concentração de NaCl (40 mM), o caule apresentou teor de Na^+ 1,22 vez superior ao verificado nas folhas. Entretanto, esse padrão se inverteu nas maiores concentrações (80 e 120 mM), com as folhas acumulando 1,20 e 1,42 vez mais Na^+ que o caule, respectivamente. Esses resultados demonstram uma mudança na dinâmica de distribuição iônica em função da intensidade do estresse salino.

No estudo de Azeem et al. (2023), plantas de moringa foram cultivadas em casa de vegetação utilizando vasos contendo substrato composto por uma mistura de solo e esterco bovino (9:1, v/v). As plantas foram irrigadas com solução nutritiva na concentração de 50% (Hoagland e Arnon, 1950), acrescida de NaCl nas concentrações de 50 e 100 mM, por um período de 40 dias (55 dias após a germinação). Os resultados demonstraram que, em ambas as concentrações salinas testadas (50 e 100 mM de NaCl), os teores de Na^+ apresentaram magnitudes similares nos diferentes órgãos, com um padrão distinto de distribuição. Observou-se um discreto acúmulo superior no caule em comparação às folhas, enquanto as raízes exibiram a menor concentração de Na^+ entre os órgãos analisados. Sob estresse salino (50 e 100 mM de NaCl), os acúmulos de Na^+ foram 2,25; 4,33 e 4,46 vezes maiores no caule, raízes e folhas, respectivamente, em relação ao cultivo sem estresse salino (0 mM de NaCl).

Para o K^+ , a ausência de interação significativa indica que os teores desse íon mantiveram-se estáveis em proporções similares tanto nos tratamentos sob estresse salino quanto no controle (sem estresse salino), independentemente da CSN. A análise isolada para CEa revelou maior acúmulo de K^+ no caule (Figura 6D) em comparação às folhas (Figura 6C). Em condições sem estresse salino, os teores de K^+ foram 1,32 e 1,28 vez maiores nas folhas e caule, respectivamente, quando comparados ao tratamento sob estresse salino. A razão Na^+/K^+ (Figuras 6E e 6F) seguiu o mesmo comportamento do acúmulo de Na^+ . Uma baixa razão Na^+/K^+ ou alta razão K^+/Na^+ no citosol serve como um indicador importante de tolerância à salinidade nas plantas, refletindo em um equilíbrio iônico (Freire e Miranda, 2012; Almeida et al., 2017; Hussain et al., 2021; Atta et al., 2023; Talakayala et al., 2025). Os resultados do presente estudo demonstram que, na CSN de 75% a razão Na^+/K^+ (tanto nas folhas quanto no caule)

não apresentou diferença significativa entre os tratamentos com e sem estresse salino. Esta equivalência sugere a ativação de eficientes mecanismos homeostáticos pela planta nesta condição específica de salinidade.

Os teores de Cl^- apresentaram comportamento de acúmulo semelhante ao observado para o Na^+ , com as maiores médias registradas na menor CSN (25%) tanto nas folhas (Figura 6G) quanto no caule (Figura 6H). Contudo, em todos os níveis de CSN exibiram acúmulo significativamente maior de Cl^- sob condições de estresse salino. Já no caule, na CSN de 75% não houve diferença estatística nos teores de Cl^- entre plantas submetidas aos tratamentos com e sem estresse salino.

Em resumo, este estudo destaca aspectos fundamentais, como a nutrição mineral otimizada em sistemas hidropônicos para atenuar os efeitos deletérios da salinidade no desenvolvimento vegetal; potencial agrônomo da *Moringa oleífera* o para cultivo em regiões com restrições hídricas qualitativas, desde que adotadas estratégias de manejo específicas, particularmente: modulação das concentrações das soluções nutritivas e o ajuste da condutividade elétrica conforme estágio fenológico da cultura.

Conclusões

As variáveis biométricas (altura de planta, diâmetro do caule e número de folhas) foram afetadas isoladamente pelo estresse salino (condutividade elétrica da água – CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$), que variou de acordo com o período de avaliação.

Os índices das clorofilas *a* e *b* apresentaram respostas diferenciadas ao estresse salino, com variações tanto em função das concentrações das soluções nutritivas (CSN) quanto no tempo (períodos de avaliações).

Os teores de K^+ tanto nas folhas quanto no caule sofreram mudanças significativas em função dos fatores isolados; enquanto para os teores de Na^+ e Cl^- e a razão Na^+/K^+ , houve interação entre os fatores.

Sob estresse salino, as produções de biomassa fresca e seca da parte aérea foram maximizadas com 62,75 e 64,38% da CSN, respectivamente.

Portanto, pode-se concluir que, sob cultivo em condições de estresse salino pode-se reduzir a concentração de nutrientes das soluções nutritivas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido dos seguintes órgãos: INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical-INCTAgriS (CNPq/Funcap/Capes), processos 406570/2022-1 (CNPq) e Processo INCT-35960-62747.65.95/51 (Funcap); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo 408511/2023-0); Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia – Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável (INCITE Economia Verde: Edital INCITE Nº 005/2022 – Pedido Nº 4137/2022). Agradecem também ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, por fornecer a infraestrutura necessária para pesquisa.

Referências

Almeida, D. M.; Oliveira, M. M.; Saibo, N. J. M. Regulation of Na⁺ and K⁺ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. *Genetics and Molecular Biology*, v. 40, n. 1 (suppl), p. 326-345, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2016-0106>

Al Meselmani, M. A. Nutrient solution for hydroponics. In: Turan, M.; Argin, S.; Yildirim, E.; Güneş, A. (ed.). *Recent research and advances in soilless culture*. London: IntechOpen, 2022. p. 1-21. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101604>

Atta, K.; Mondal, S.; Gorai, S.; Singh, A. P.; Kumari, A.; Ghosh, T.; Roy, A.; Hembram, S.; Gaikwad, D. J.; Mondal, S.; Bhattacharya, S.; Jha, U. C.; Jespersen, D. Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection.

Frontiers in Plant Science, v. 14, 1241736, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>

Azeem, M.; Pirjan, K.; Qasim, M.; Mahmood, A.; Javed, T.; Muhammad, H.; Yang, S.; Dong, R.; Ali, B.; Rahimi, M. Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. *Scientific Reports*, v. 13, 2895, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29954-6>

Bayomy, H. M.; Alamri, E. S.; Alharbi, B. M.; Almasoudi, S. E.; Ozaybi, N. A.; Mohammed, G. M.; Genaidy, E. A.; Atteya, A. K. G. Oil yield and bioactive compounds of *Moringa oleifera* trees grown under saline conditions. *Plants*, v. 14, n. 4, 509, 2025. <https://doi.org/10.3390/plants14040509>

Bhuker, A.; Malik, A.; Punia, H.; McGill, C.; Sofkova-Bobcheva, S.; Mor, V. S.; Singh, N.; Ahmad, A.; Mansoor, S. Probing the phytochemical composition and antioxidant activity of *Moringa oleifera* under ideal germination conditions. *Plants*, v. 12, n. 16, 3010, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12163010>

Chis, A.; Noubissi, P. A.; Pop, O.-L.; Mureşan, C. I.; Tagne, M. A. F.; Kamgang, R.; Fodor, A.; Sitar-Tăut, A.-V.; Cozma, A.; Orăşan, O. H.; Hegheş, S. C.; Vulturar, R.; Suharoschi, R. Bioactive compounds in *Moringa oleifera*: Mechanisms of action, focus on their anti-inflammatory properties. *Plants*, v. 13, n. 1, 20, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13010020>

Cobos, A. G. Z.; Gutiérrez, J.; Caballero, P. Use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in the reduction of water turbidity in mining activities. *Water*, v. 16, n. 16, 2315, 2024. <https://doi.org/10.3390/w16162315>

Costa, M. B. T.; Crispim, L. B. R.; Santos, S. M. B.; Silva, W. C.; Arruda, A. S. Cultivo in vitro de *Moringa oleifera* sob estresse salino. *Revista Agrotecnologia*, v. 10, n. 1, p. 88-96, 2019. <https://doi.org/10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v10n1p88-96>

Cova, A. M. W.; Silva, M. G.; Silva, P. C. C.; Santos Júnior, J. A.; Soares, T. M.; Gheyi, H. R. Hortaliças: Cultivo hidropônico. In: Fernandes, P. D.; Lacerda, C. F.; Gheyi, H. R.; Freire, M. B. G. S. (Org.). *Biossalinidade: Produção de*

alimentos e produtos agroindustriais. Campina Grande: EDUEPB, 2024. p. 441-470.

El Bilali, H.; Guimbo, I. D.; Nanema, R. K.; Falalou, H.; Kiebre, Z.; Rokka, V.-M.; Tietiambou, S. R. F.; Nanema, J.; Dambo, L.; Grazioli, F.; Jika, A. K. N.; Gonnella, M.; Acasto, F. Research on moringa (*Moringa oleifera* Lam.) in Africa. *Plants*, v. 13, n. 12, 1613, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13121613>

El Sabagh, A.; Islam, M. S.; Skalicky, M.; Ali Raza, M.; Singh, K.; Hossain, M. A.; Hossain, A.; Mahboob, W.; Iqbal, M. A.; Ratnasekera, D.; Singhal, R. K.; Ahmed, S.; Kumari, A.; Wasaya, A.; Sytar, O.; Brestic, M.; Çig, F.; Erman, M.; Ur Rahman, M. H.; Ullah, N.; Arshad, A. Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and management strategies. *Frontiers in Agronomy*, v. 3, 661932, 2021. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.661932>

Fejér, J.; Gruľová, D.; Kron, I. Testing the antioxidant activity of different leaf extracts and the phenolic content of young *Moringa oleifera* Lam. plants grown in a temperate climate zone. *International Journal of Plant Biology*, v. 16, n. 1, 11, 2025. <https://doi.org/10.3390/ijpb16010011>

Ferreira, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

Freire, A. L. O.; Miranda, J. R. P. Crescimento e acúmulo de cátions em plantas de moringa mantidas em solos salinos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 32, n. 69, p. 45-51, 2012. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.69.45>

Fu, W.; He, X.; Chen, Y.; Ma, Z.; Zhou, J.; Xu, Q. Study on salt-ion content and biomass distribution characteristic of different organs of *Poacynum pictum* in different water-salt habitats. *Forests*, v. 16, n. 1, 185, 2025. <https://doi.org/10.3390/f16010185>

Furlani, P. R.; Silveira, L. C. P.; Bolonhezi, D.; Faquin, V. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 52p. (Boletim Técnico, 180).

Hao, S.; Wang, Y.; Yan, Y.; Liu, Y.; Wang, J.; Chen, S. A review on plant responses to salt

stress and their mechanisms of salt resistance. *Horticulturae*, v. 7, n. 6, 132, 2021. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7060132>

Hoagland, D. R.; Arnon, D. I. The water-culture method of growing plants without soil. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 32p. (Circular, 347).

Hussain, S. J.; Khan, N. A.; Anjum, N. A.; Masood, A.; Khan, M. I. R. Mechanistic elucidation of salicylic acid and sulphur-induced defence systems, nitrogen metabolism, photosynthetic, and growth potential of mungbean (*Vigna radiata*) under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 40, p. 1000-1016, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10159-4>

Jones Jr., J. B. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Boca Raton: CRC Press, 2001. 384p. <https://doi.org/10.1201/9781420025293>

Khoza, T.; Masenya, A.; Khanyile, N.; Thosago, S. Alleviating plant density and salinity stress in *Moringa oleifera* using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Journal of Fungi*, v. 11, n. 4, 328, 2025. <https://doi.org/10.3390/jof11040328>

Kumar, A.; Singh, S.; Gaurav, A. K.; Srivastava, S.; Verma, J. P. Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, 1216, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01216>

Laka, T.; Masenya, T. A.; Mabila, W. S.; Mabuela, A.; Nokuthula, K. Exploring the impact of vesicular arbuscular mycorrhiza on phytochemical profiles, productivity enhancement and saline stress alleviation in *Moringa oleifera*. *Reviews in Agricultural Science*, v. 12, p. 213-236, 2024. https://doi.org/10.7831/ras.12.0_213

Lessa, C. I. N.; Sousa, G. G.; Sousa, H. C.; Silva Junior, F. B.; Leite, K. N.; Moraes, J. G. L. Growth of yellow passion-fruit seedlings in different substrates under salt stress. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 12, n. 1-3, p. 91-100, 2023. <https://doi.org/10.19149/wrim.v12i1-3.3231>

- Nóbrega, J. S.; Lopes, K. P.; Gomes, C. D. L.; Sá, J. M.; Oliveira, O. H.; Paiva, F. J. S. Seed quality and vigor of germination of *Moringa oleífera* Lam. in saline stress. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 64, e21210106, 2021. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021210106>
- Nóbrega, J. S.; Souza, T. A.; Souto, L. S.; Sousa, J. A.; Figueiredo, F. R. A.; Sá, F. V. S. Produção de mudas de moringa (*Moringa oleífera*) sob irrigação com água salina e substratos. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 12, n. 6, p. 3012-3020, 2018. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v12n600886>
- Nouman, W.; Siddiqui, M. T.; Basra, S. M. A.; Khan, R. A.; Gull, T.; Olson, M. E.; Munir, H. Response of *Moringa oleífera* to saline conditions. International Journal of Agriculture & Biology, v. 14, n. 5, p. 757-762, 2012.
- Oliveira, F. A.; Oliveira, M. K. T.; Silva, R. C. P.; Silva, O. M. P.; Maia, P. M. E.; Cândido, W. S. Crescimento de mudas de moringa em função da salinidade da água e da posição das sementes nos frutos. Revista Árvore, v. 37, n. 1, p. 79-87, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000100009>
- Oliveira, F. R. A.; Oliveira, F. A.; Guimarães, I. P.; Medeiros, J. F.; Oliveira, M. K. T.; Freitas, A. V. L.; Medeiros, M. A. Emergência de plântulas de moringa irrigada com água de diferentes níveis de salinidade. Bioscience Journal, v. 25, n. 5, p. 66-74, 2009.
- Rodrigues, M. H. B. S.; Fátima, R. T.; Nóbrega, J. S.; Ferreira, J. T. A.; Pereira, M. B.; Silva, S. N.; Costa, F. B.; Andrade, A. B. A.; Sousa, V. F. O.; Silva, T. I. Photochemical efficiency and growth of moringa irrigated with brackish water and foliar application of biostimulant. Water Resources and Irrigation Management, v. 14, n. 1-3, p. 1-13, 2025. <https://doi.org/10.19149/wrim.v14i1-3.4980>
- Sané, N.; Mbengue, M.; Laffite, A.; Stoll, S.; Poté, J.; Le Coustumer, P. Development of a process for domestic wastewater treatment using *Moringa oleífera* for pathogens and antibiotic-resistant bacteria inhibition under tropical conditions. Water, v. 14, n. 15, 2379, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14152379>
- Santos, T. S.; Correia, M. R. S.; Sena, L. S.; Santana, L. P. S.; Silva, G. B. G.; Lima, K. S.; Dutra, E. V. S.; Adas, M. E.; Ribeiro, M. C. B. O.; Ribeiro, J. E. S.; Ribas, R. F.; Silva, E. F.; Rubio-Casal, A. E.; Barros Júnior, A. P.; Tang, X.; Silva, T. G. F.; Jardim, A. M. R. F.; Silva, T. I. The combination of salicylic acid, nicotinamide, and proline mitigates the damage caused by salt stress in nasturtium (*Tropaeolum majus*). Plants, v. 14, n. 8, 1156, 2025. <https://doi.org/10.3390/plants14081156>
- Silva, E. C. A.; Lucena, P. G. C.; Nascimento, R. M.; Santos, C. A.; Araújo, R. P. S.; Nogueira, R. J. M. C. Mecanismos bioquímicos em *Moringa oleífera* Lam. para tolerância à salinidade. Acta Iguazu, v. 6, n. 4, p. 54-71, 2017. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i4.16969>
- Silva, L. G. C.; Almeida, G. N.; Almeida, G. N.; Maciel, E. R. F.; Souza, D. S.; Almeida, Á. B. M.; Silva, F. D. S.; Costa, L. J.; Alves, M. D. S.; Pereira, J. W. L.; Silva, E. C. A. Utilização de água salobra e rejeito de dessalinizador na germinação de *Moringa oleífera* Lamarck. Revista Caderno Pedagógico, v. 21, n. 12, p. 1-15, 2024a. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n12-164>
- Silva, M. G.; Gheyi, H. R.; Silva, L. L.; Souza, T. T.; Silva, P. C. C.; Queiroz, L. A.; Santos, T. S.; Soares, T. M. Evaluation of salt and root-zone temperature stresses in leafy vegetables using hydroponics as a clean production cultivation technique in northeastern Brazil. Horticulture, Environment and Biotechnology, v. 65, n. 1, p. 95-118, 2024b. <https://doi.org/10.1007/s13580-023-00547-6>
- Sousa, G. G.; Goes, G. F.; Sousa, J. T. M.; Silva Junior, F. B.; Simplício, A. Á. F.; Barbosa, A. S.; Saraiva, S. E. L. Emergency, initial growth and biomass of peanut genotypes irrigated with brackish waters. Water Resources and Irrigation Management, v. 13, n. 1-3, p. 110-119, 2024. <https://doi.org/10.19149/wrim.v13i1-3.4768>
- Talakayala, A.; Jupally, Y.; Asinti, S.; Mekala, G. K.; Kirti, P. B.; Sharma, I. Differences in the regulation of ion imbalance in response to high Na⁺ load hint at differential strategies for salt-tolerance in mungbean genotypes (*Vigna radiata* L.). Plant Growth Regulation, v. 105, n. 1, p. 89-109, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01257-4>

Tavares Filho, G. S.; Silva, D. F.; Lins, R. C.; Araújo, C. A. S.; Oliveira, F. F.; Matias, S. S. R. Desenvolvimento de mudas de *Moringa oleífera* (LAM) submetida a diferentes níveis de água salina. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 48671-48683, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-493>