



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (UERN)
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS (FANAT)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS (PPGCN)
MESTRADO EM CIÊNCIAS NATURAIS (MCN)**

EDILMA ALVES DA SILVA

**ELICITORES DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO EM PLÂNTULAS
DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum* L.)**

**MOSSORÓ
2025**

EDILMA ALVES DA SILVA

**ELICITORES DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO EM PLÂNTULAS
DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum* L.)**

Defesa do trabalho de dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais (PPGCN), da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais. Área de concentração: Recursos Naturais. Linha de pesquisa: Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cynthia Cavalcanti de Albuquerque

Coorientador: Dra. Kleane Targino Oliveira Pereira

MOSSORÓ
2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

S586e Silva, Edilma Alves da
ELICITORES DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE
SALINO EM PLANTULAS DE MANJERICÃO (*Ocimum
basilicum*.L). / Edilma Alves da Silva. - UERN- MOSSORÓ-
RN, 2025.
80p.

Orientador(a): Profa. Dra. Prof Dra Cynthia Cavalcanti
de Albuquerque.

Coorientador(a): Profa. Dra. Dra Kleane Targino de
Oliveira Pereira.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação
em Ciências Naturais). Universidade do Estado do Rio
Grande do Norte.

1. HORMÔNIOS VEGETAL. 2. ELICITORES. 3.
ESTRESSE SALINO. 4. MANJERICÃO. 5. PLANTULAS. I.
Cavalcanti de Albuquerque, Prof Dra Cynthia. II.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pela Diretoria de Informatização (DINF), sob orientação dos bibliotecários do SIB-UERN, para ser adaptado às necessidades da comunidade acadêmica UERN.

EDILMA ALVES DA SILVA

**ELICITORES DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO EM PLÂNTULAS
DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum* L.)**

Defesa do trabalho de dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais (PPGCN), da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais. Área de concentração: Recursos Naturais. Linha de pesquisa: Tecnologia Ambiental.

Defendido em:

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Cynthia Cavalcanti de Albuquerque (UERN)
Presidente (Orientadora)

Prof^ª. Dr^ª. Maria Valdigleza de Mesquita Arruda (PDJ – UFERSA)
Membro Examinador

Prof^ª. Dr^ª. Narjara Walessa Nogueira de Freitas (UFERSA)
Membro Examinador

Aos meus avós maternos (*In Memoriam*).

A minha mãe Odete Pereira Alves (*In Memoriam*).

Ao meu tio Luiz Pereira (*In Memoriam*)

Ao meu esposo José Nilson (*In Memoriam*).

Que se estivessem vivos, seria motivo de muito orgulho essa minha conquista.

A todos da minha família, em especial aos meus filhos, José Segundo e Maria Thereza. Obrigada por serem meu porto seguro.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de ingressar no Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais (Mestrado) (PPGCN/UERN).

Agradeço a minha família por me proporcionar educação, sendo a maior riqueza que tenho conquistado durante minhas vivências. Muito obrigado. Em especial meus filhos, Maria Thereza e Segundo, meu maior tesouro! Ao meu companheiro de jornada, Luiz Antônio de Moura Leite, pelo apoio e incentivo. Não poderia deixar de agradecer aos amigos que tanto me apoiaram, em nome de Emerson Linhares e Tetê Bezerra eu agradeço.

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Cynthia Cavalcanti de Albuquerque pela confiança, orientação e acolhida em seu grupo de pesquisa; e a minha coorientadora, Dr.^a Kleane Targino Oliveira Pereira, pelos conselhos, paciência e disponibilidade em colaborar com toda a minha pesquisa.

Ao Laboratório de Fisiologia de Bioquímica de Plantas (LFBP/UERN) e toda a sua equipe pelo auxílio nas atividades de campo e apoio científico. Em nome de João Batista Costa Neto, serei eternamente grata.

Ao Laboratório Análises de Sementes, pertecente a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) pela realização dos experimentos, em especial, Professor Salvador Barros Torres e a Daise Feitosa, pela valiosa parceria e aquisição de novos conhecimentos.

Aos membros da banca de qualificação e defesa que se dispuseram a participar desse momento e contribuir na avaliação e enriquecimento deste trabalho.

Finalizo agradecendo a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), que me forneceu todo apoio na forma de infraestrutura, equipamentos, corpo docente, onde vivenciei momentos de aprendizado e aperfeiçoamento que levarei para minha vida pessoal e profissional.

ELICITORES DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO EM PLÂNTULAS DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum* L.)

RESUMO: a embebição das sementes com agentes atenuantes do estresse à salinidade pode mitigar, mesmo que parcialmente, os efeitos negativos do estresse salino. No entanto, sua eficiência depende da concentração de sais, da concentração do agente atenuante e da tolerância da espécie à salinidade. Em salinidades elevadas, o efeito benéfico tende a ser limitado, devido aos danos provocados pelo estresse oxidativo e pela toxicidade iônica podem impedir o desenvolvimento adequado das culturas. Logo, a pesquisa tem por objetivo determinar tolerância de cultivares de *Ocimum basilicum* L. na fase de plântulas e identificar qual o agente elicitor mais eficaz na atenuação do estresse salino. Para isso, foram realizadas duas ações de pesquisa. Na primeira, seis cultivares de manjericão foram submetidas a três níveis de salinidade (CE a 25 °C corresponde a 4,13 μSm^{-1} (controle), 4,19 dSm^{-1} e 5,57 dSm^{-1}) e com base na Distância Euclidiana, foram definidos as cultivares tolerantes, moderadamente tolerantes e sensíveis ao nível salino de 5,57 dSm^{-1} . Na segunda, a cv, Limoncino (tolerante) e a cv. Genaro de menta (sensível) foram submetidas aos tratamentos pré-germinativos, correspondendo a combinação do estresse salino mais o agente atenuador do estresse: sem tratamento pré-germinativo e estresse salino; estresse salino (6,98 dSm^{-1} de NaCl); Hidrocondicionamento + estresse salino; ácido giberélico + estresse salino; ácido salicílico + estresse salino; ácido ascórbico + estresse salino. A cv. Limoncino mantém o processo germinativo e a formação de plântulas normais sob o nível de salinidade de 6,98 dSm^{-1} , independentemente do pré-tratamento das sementes nos atenuadores do estresse salino. A cv. Genaro de menta, apresenta redução no processo germinativo, mas principalmente a formação de plântulas é afetada quando produzidas sob salinidade de 6,98 dSm^{-1} . O pré-tratamento das sementes em ácidos, ascórbico e salicílico, promove a retomada do crescimento e formação de plântulas normais quando produzidas sob salinidade.

Palavras-chave: salinidade; atenuadores do estresse; hormônios vegetais.

SALINE STRESS TOLERANCE ELICITORS IN BASIL (*Ocimum basilicum* L.) SEEDLINGS

ABSTRACT: Seed imbibition with salinity stress mitigating agents can mitigate, even partially, the negative effects of salinity stress. However, its efficiency depends on the salt concentration, the concentration of the mitigating agent and the tolerance of the species to salinity. At high salinities, the beneficial effect tends to be limited, because the damage caused by oxidative stress and ionic toxicity can prevent proper crop development. This research aims to determine the tolerance of *Ocimum basilicum* L. cultivars at the seedling stage and identify the most effective elicitor agent in mitigating salt stress. Two research actions were conducted. In the first, six basil cultivars were subjected to three salinity levels (EC at 25 °C: 4.13 $\mu\text{S m}^{-1}$ [control], 4.19 dS m^{-1} , and 5.57 dS m^{-1}), and based on Euclidean Distance, the cultivars were classified as tolerant, moderately tolerant, or sensitive to a salinity level of 5.57 dS m^{-1} . In the second, the Limoncino cultivar (tolerant) and the Genaro de Menta cultivar (sensitive) were subjected to pre-germination treatments combining salinity stress with a stress-attenuating agent: no pre-germination treatment and salinity stress; salinity stress (6.98 dS m^{-1} NaCl); hydropriming + salinity stress; gibberellic acid + salinity stress; salicylic acid + salinity stress; ascorbic acid + salinity stress. The Limoncino cultivar maintained germination and normal seedling formation under 6.98 dS m^{-1} salinity, regardless of seed pre-treatment with salinity stress attenuators. In the Genaro de Menta cultivar, germination was reduced, and seedling formation was significantly affected under 6.98 dS m^{-1} salinity. Pre-treatment with ascorbic and salicylic acids promoted growth recovery and normal seedling formation under salinity conditions.

Keywords: salinity; stress attenuators; plant hormones.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

- Figura 1.** Distribuição espacial da temperatura média do ar entre 1970-2000 (A). Precipitação anual (B). Evapotranspiração potencial usando o método Penman-Monteith (ET_o-PM). (C) Limite do Semiárido brasileiro – SAB (D). SAB no mundo (E). Fonte: Silva *et al.*, 2023.....19
- Figura 2.** Delimitação do semiárido brasileiro. Fonte: INSA (2024). 20

CAPÍTULO II: germinação e tolerância de cultivares de manjeriço sob estresse salino

- Figura 1.** Germinação (A) e tempo médio de germinação (B) entre cultivares; tempo de médio de germinação (C) entre os níveis de salinidade; e índice de velocidade de germinação (D) de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade. C1: Basilicão; C2: Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limonci-
no.....45

- Figura 2.** Comprimento da parte aérea (A), raiz (B) e total (C) de plântulas de cultivares de manjeriçãõ (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade. C1: Basilicãõ; C2: Alfavaca Basilicãõ Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limoncino.....46
- Figura 3.** Massa seca da parte aérea (A), raiz (B) e total (C) de plântulas de cultivares de manjeriçãõ (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade. C1: Basilicãõ; C2: Alfavaca Basilicãõ Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limoncino.....37
- Figura 4.** Açúcares solúveis totais (A), aminoácidos totais (B) e prolina livre (C) de plântulas de cultivares de manjeriçãõ (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade. C1: Basilicãõ; C2: Alfavaca Basilicãõ Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limoncino.....50
- Figura 5.** Dendrograma de dissimilaridade dos grupos formados pela combinação de níveis de salinidade (S) e cultivares (C) de manjeriçãõ (C1: Basilicãõ; C2: Alfavaca Basilicãõ Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limoncino).....52

CAPÍTULO III – ATENUADORES DOS EFEITOS DO ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO E FORMAÇÃO DE PLÂNTULAS DE *Ocimum basilicum* L.

- Figura 1.** Médias da porcentagem germinação (A), índice de velocidade de germinação (B) e tempo médio de germinação (C) de plântulas de cultivares de manjeriçãõ (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a atenuadores do estresse salino: hidrocondicionamento, ácido giberélico (AG₃), ácido salicílico (AS) e ácido ascórbico (AASC).....66
- Figura 2.** Médias do comprimento da parte aérea (A), raiz (B), total (C) e relação raiz/ parte aérea (D) de plântulas de cultivares de manjeriçãõ (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a atenuadores do estresse salino: hidrocondicionamento, ácido giberélico (AG₃), ácido salicílico (AS) e ácido ascórbico (AASC).....68
- Figura 3.** Médias da massa seca da parte aérea para efeito isolado das cultivares (A); para a combinação dos atenuadores com os níveis de salinidade: massa seca da parte aérea (B); raiz (C) e total (D) de plântulas de cultivares de manjeriçãõ (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a atenuadores do estresse salino: hidrocondicionamento, ácido giberélico (AG₃), ácido salicílico (AS) e ácido ascórbico (AASC).....71

Figura 4. Médias da quantificação de açúcares solúveis totais (A), amino-ácidos totais (B) e prolina livre (C) em plântulas de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a atenuadores do estresse salino: hidrocondicionamento, ácido giberélico (AG₃), ácido salicílico (AS) e ácido ascórbico (AASC).....72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II: GERMINAÇÃO E TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum* L.) SOB ESTRESSE SALINO

Tabela 1. Análise da variância para a porcentagem de germinação (G), Tempo médio de germinação (TMG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), raiz (CR) e total (CT) de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade.....44

Tabela 2. Análise da variância para a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), açúcares solúveis totais (AST), aminoácidos totais (AA) e prolina livre (PRO) de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade.....48

CAPÍTULO III: ATENUADORES DOS EFEITOS DO ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO E FORMAÇÃO DE PLÂNTULAS DE MANJERICÃO (*O. basilicum* L.)

Tabela 1.	Análise da variância para a porcentagem de germinação (G), Tempo médio de germinação (TMG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), raiz (CR), total (CT) e relação raiz/ parte aérea (R/PA) de cultivares de manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i> L.) submetidas a atenuadores do estresse salino.....	65
Tabela 2.	Análise da variância para a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), açúcares solúveis totais (AST), aminoácidos totais (AA) e prolina livre (PRO) de cultivares de manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i> L.) submetidas a atenuadores do estresse salino.....	70

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - Considerações gerais	13
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Causas e consequências da limitação hídrica no semiárido nordestino	17
2.1.1 Efeitos do déficit hídrico induzido pela presença de sais na germinação e estabelecimento de plântulas de espécies vegetais.....	20
2.1.2 mecanismos de defesa das espécies vegetais a presença de sais intracelular.....	21
2.2 Ácidos orgânicos como agentes atenuantes dos estresses abióticos	22
2.2.1 Ácido giberélico.....	23
2.2.2 Ácido salicílico.....	24
2.2.3 Ácido ascórbico.....	25
2.2.4 Hidrocondicionamento.....	25
2.3 Manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	26
3. REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO II – Germinação e tolerância a salinidade de cultivares de <i>Ocimum basilicum</i> L.	35
1. INTRODUÇÃO	37
2. OBJETIVOS	38
2.2 Objetivos específicos	39
3. MATERIAIS E MÉTODO	39
3.1 Local de realização do experimento e obtenção dos lotes de sementes	39
3.2 Delineamento experimental	39
3.3 Variáveis analisadas	40
3.4 Análise estatística	42

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5. CONCLUSÃO	52
6. REFERÊNCIAS	52
CAPÍTULO III - Tratamentos pré-germinativo e tolerância ao estresse salino em plântulas de manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	56
1. INTRODUÇÃO	58
2. OBJETIVOS	60
2.2 Objetivos específicos	60
3. MATERIAIS E MÉTODO	61
3.1 Local de realização do experimento e obtenção dos lotes de sementes	61
3.2 Delineamento experimental	61
3.3 Variáveis analisadas	62
3.4 Análise estatística	64
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5. CONCLUSÃO	74

CAPÍTULO I - Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO GERAL

No semiárido brasileiro, a produtividade do setor agrícola depende fortemente das condições edafoclimáticas, o que impacta a germinação, o desenvolvimento e o manejo de diversas culturas. A irregularidade do período chuvoso e os longos períodos de estiagem neste domínio fitogeográfico são refletidos em um índice pluviométrico médio de 749 ± 140 mm nos últimos 35 anos, com reduções de 7 ± 2 mm/ano previstas em consequência das mudanças climáticas (Sparacino; Argibay; Espindola, 2021). Além disso, a região também possui elevadas taxas de evapotranspiração, variando de 1200 e 2200 mm/ano, valores superiores à média de precipitação, os quais favorecem o aumento de zonas áridas (Silva *et al.*, 2023).

Diante desse cenário de déficit hídrico e intensa evaporação, os solos da região também sofrem alterações significativas, especialmente em sua composição mineral. A predominância de solos rasos com baixa capacidade de retenção de água, somada à escassez de chuvas e à alta taxa de evaporação, intensifica a concentração de sais no solo, sendo uma das principais causas do processo de salinização (Daliakopoulos *et al.*, 2016).

Em regiões litorâneas, essa salinização pode se intensificar por outros fenômenos. No Rio Grande do Norte, o avanço da água marinha resulta na intrusão salina, comprometendo a qualidade das águas subterrâneas. Estudos indicam que até 43% dos poços de água doce que são utilizados no estado para irrigação apresentam elevados teores de sais (Amaral, Ferreira; Navoni, 2021). A deterioração da qualidade da água pode comprometer significativamente a produtividade agrícola, especialmente quando o manejo hídrico é realizado de forma inadequada, contribuindo para o acúmulo de sais na superfície do solo (Alves; Lucena, 2022).

O excesso de sais no solo e na água de irrigação impacta diretamente a germinação de espécies vegetais, afetando os processos fisiológicos no desenvolvimento inicial, como a alteração de rotas metabólicas na tentativa de aclimação das plantas na presença desses sais (Atta *et al.*, 2023). O excesso de íons, como sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), caracteriza o estresse iônico e causa distúrbios nutricionais e metabólicos nas plantas, principalmente ao reduzir a absorção de potássio (K^+) (Assaha *et al.*, 2017).

Ambientes com elevada salinidade também contribuem para o aumento da pressão osmótica no solo, produzindo condições de estresse que reduzem a absorção de água pelas sementes e, conseqüentemente, retardam ou inibem a germinação (Zhao *et al.*, 2021).

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), é uma das culturas suscetíveis ao estresse salino. A espécie possui ampla distribuição e fácil cultivo no Brasil, se adaptando bem as variações de clima e temperatura, como as encontradas em um país continental (Antar, 2025; Azizah *et al.*, 2023). A riqueza de compostos farmacológicos e aromáticos no caule e nas folhas promovem valor ao seu cultivo por meio do comércio para a culinária e do óleo essencial produzido (O'Leary, 2016).

Segundo o último Censo Agropecuário, realizado em 2017 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram produzidas 2.432 toneladas de material vegetal da espécie, um volume considerado baixo em comparação a outros países. Estudos demonstram que o estresse salino reduz os parâmetros de crescimento do manjeriço, impactando sua comercialização. Em potenciais osmóticos de $-0,3$ MPa ($8,3$ dS m^{-1}), a germinação da espécie fica abaixo de 80%. Ao dobrar esse nível de salinidade para $-0,6$ MPa ($16,6$ dS m^{-1}), a taxa de germinação cai para 20%, chegando a ser nula em condições de $-1,2$ MPa (Trevizan *et al.*, 2020).

Sousa *et al.* (2021) relatam que uma condutividade elétrica da água de irrigação de $4,90$ dS m^{-1} é suficiente para reduzir consideravelmente a produtividade da cultura, havendo variações de tolerância a depender das cultivares utilizadas. A cultivar cv. Purple, por exemplo, não apresentou redução significativa na produtividade até aproximadamente 6 dS m^{-1} , ajustando sua concentração de metabólitos primários, como aminoácidos e prolina, e secundários, como flavonoides, para equilibrar o gradiente osmótico (Ciriello *et al.*, 2024). A eficácia no ajuste dos mecanismos de tolerância varia entre espécies e cultivares, estando diretamente relacionada à forma como a planta se adapta para minimizar esses impactos (Choi *et al.*, 2017). Essa característica pode ser determinante na seleção de plantas para cultivo em áreas afetadas pela salinidade.

Os tratamentos pré-germinativos são uma estratégia eficiente para reduzir os danos provocados pelo estresse salino. Entre as abordagens

disponíveis, o uso de atenuadores ou elicitores tem se mostrado eficaz na mitigação dos efeitos adversos de estresses abióticos, como seca e salinidade (Melo-Sabogal; Contreras-Medina, 2024; Pereira *et al.*, 2024; Souza Neta *et al.*, 2024). Tais fatores podem impactar diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas.

A embebição de sementes em soluções contendo agentes atenuantes do estresse, antes da exposição à salinidade pode amenizar, ainda que parcialmente, os efeitos negativos desse estresse (Altaey, 2017). No entanto, para maximizar seus benefícios, ainda são necessárias investigações que identifiquem os compostos adequados, suas concentrações ideais e o tempo de exposição mais eficiente.

Dentre os compostos utilizados na mitigação de estresses abióticos, destacam-se os ácidos orgânicos, incluindo hormônios vegetais, que desempenham funções essenciais na regulação osmótica, na neutralização de íons tóxicos e no equilíbrio energético da planta (Melo-Sabogal; Contreras-Medina, 2024). Embora sejam naturalmente sintetizados pelo metabolismo vegetal, sua aplicação exógena, seja por pulverização foliar ou embebição de sementes, tem demonstrado potencial para induzir respostas de tolerância ao estresse (Souza Neta *et al.*, 2024; Pereira *et al.*, 2024; Gowtham *et al.*, 2024).

Aprofundar os estudos sobre a tolerância de cultivares de *Ocimum basilicum* ao estresse salino e a aplicação de atenuadores que reduzam os danos à germinação e ao desenvolvimento de plântulas é uma estratégia promissora para otimizar o cultivo e minimizar os custos com o manejo dessa espécie em solos ou sistemas irrigados com água de elevada salinidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Causas e consequências da limitação hídrica no semiárido nordestino

As limitações hídricas no Nordeste brasileiro são influenciadas por diversos fatores naturais. Essa região apresenta índices pluviométricos médio de 749 ± 140 mm avaliados em um período de 35 anos, com chuvas irregulares e concentrada a poucos meses do ano, com maior intensidade entre os meses de dezembro e fevereiro, resultando em longos períodos de estiagem (Sparacino; Argibay; Espindola, 2021). De acordo com os autores, a tendência é de redução da precipitação em 7 ± 2 mm/ ano, induzido pelas mudanças climáticas.

Em resposta à precipitação, os leitos dos rios permanecem secos por um período do ano. Além disso, a presença de rios intermitentes, que secam durante o período seco, dificulta a disponibilidade contínua de água para a população e para as atividades econômicas da região (Silva; Duarte, 2017). Adicionalmente, a elevada taxa de evaporação devido às altas temperaturas médias anuais de 27 °C intensifica a perda de água na superfície, induz a degradação da qualidade da água, alterando as propriedades físicas, químicas e biológicas dos ecossistemas aquáticos (Braga *et al.*, 2015). Além disso, a elevada evapotranspiração varia de 1200 a 2200 mm/ano (Figura 1), maior que a média da precipitação, reduz a disponibilidade hídrica e a tendência é que até 2050, ocorra um aumento de até $1,8$ °C (Silva *et al.*, 2023), o que pode provocar o aumento de áreas áridas.

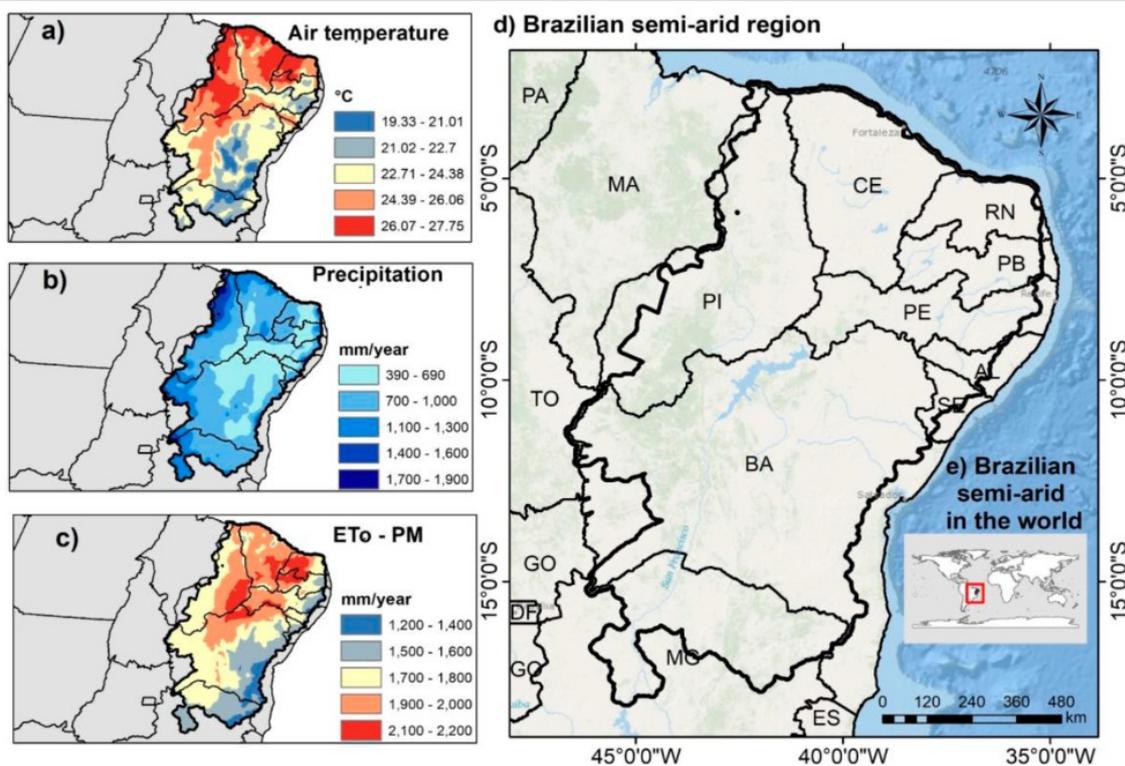


Figura 1. Distribuição espacial da temperatura média do ar entre 1970-2000 (A). Precipitação anual (B). Evapotranspiração potencial usando o método Penman-Monteith (ETo-PM). (C) Limite do Semiárido brasileiro – SAB (D). SAB no mundo (E). Fonte: Silva *et al.* (2023).

De acordo com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), por meio da Resolução nº 176/ 2024, atualmente, o Semiárido brasileiro é representado por 1.477 municípios, abrangendo uma área de 1.335.298 km², em 11 Estados, do Maranhão ao Espírito Santo (Figura 2).

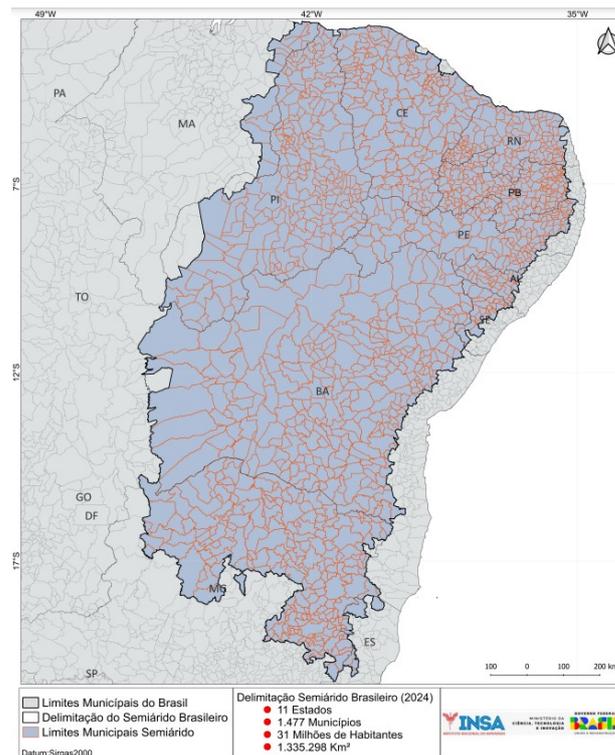


Figura 2. Delimitação do semiárido brasileiro. Fonte: INSA (2024)

Devido ao baixo intemperismo e lixiviação, os principais processos pedogenéticos nos solos presentes nesta região são a formação de argila, elutriação, salinização e sodificação (Souza *et al.*, 2023). Enquanto a salinidade, refere-se ao excesso de sais solúveis no solo e causa prejuízos direto as plantas, a sodicidade está associado ao excesso de sódio trocável, que impacta a estrutura do solo e o movimento da água no perfil do solo (Rengasamy, 2016). Com predominância de solos rasos, que apresentam pouca capacidade de retenção de água, aliado a baixa precipitação e alta evaporação, há uma intensificação na concentração de sais no solo, sendo uma das causas primárias do processo de salinização (Daliakopoulos *et al.*, 2016).

Em regiões litorâneas, como ocorre no Rio Grande do Norte, a intrusão salina promove salinização das águas, principalmente do aquífero Barreiras. A presença de sais foi identificada em até 43% dos poços de água doce que são utilizados para a irrigação (Amaral; Ferreira; Navoni, 2021). Dentre os fatores que podem intensificar essa problemática, a demanda de água para irrigação, resultando em uma maior necessidade de poços de bombeamento, o que

reduz a força do fluxo de descarga de águas subterrâneas ao deslocar água salgada para o aquífero. Os efeitos na qualidade da água podem acarretar sérios prejuízos a produtividade agrícola, quando manejados inadequadamente (Alves; Lucena, 2022).

Esses fatores naturais quando combinados a fatores secundários do processo de salinização, como o uso de sistemas de irrigação ineficientes, aliado à aplicação inadequada de água em áreas irrigadas e fertilizantes, contribui para o acúmulo de sais na superfície. Essa problemática estabelece um cenário desafiador exigindo estratégias adaptativas para mitigar os impactos da baixa disponibilidade de água em quantidade e qualidade para a agricultura local, principalmente, para a agricultura familiar.

2.1.1 Efeitos do déficit hídrico induzido pela presença de sais na germinação e estabelecimento de plântulas de espécies vegetais

A presença de sais em excesso no solo e na água de irrigação pode impactar significativamente a germinação de espécies vegetais, afetando tanto os processos fisiológicos que culmina no desenvolvimento inicial das plantas, quanto na alteração de rotas metabólicas em uma tentativa das plantas em se aclimatar a presença de sais (Atta *et al.*, 2023). A salinidade cria um ambiente de alta pressão osmótica no solo, reduzindo o potencial hídrico externo e dificultando a absorção de água pelas sementes (Zhao *et al.*, 2021). Essa redução na disponibilidade de água, essencial para a embebição, pode retardar ou até impedir que as sementes germinem, já que é o primeiro processo das fases da germinação (Marcos Filho, 2015).

O estresse osmótico causa redução da pressão de turgor a nível celular, sendo uma das primeiras restrições causada pelo excesso de sais. O impacto do estresse osmótico é perceptível nas plantas através da redução da expansão do sistema radicular e do caule. Em conjunto, a capacidade da planta de assimilar CO₂ é prejudicada pelo fechamento rápido dos estômatos (Zhao *et al.*, 2021). A partir da percepção pela planta da presença de sais, os efeitos ocorrem em cadeia, alterado todo o metabolismo.

Quando as plantas são expostas ao sal, os íons de sódio (Na⁺) competem com os íons de potássio (K⁺), e são absorvidos por canais de cátions não seletivos. O excesso de íons, como sódio (Na⁺), juntamente com os

de cloreto (Cl⁻), também conhecido como estresse iônico, causam distúrbios nutricionais e metabólicos (Assaha *et al.*, 2017). Além de causar danos diretos às membranas celulares, prejudica o desenvolvimento da plântula, a morfologia, a fisiologia e as características bioquímicas das plantas (Alharbi; Al-Osaimi; Alghamdi, 2022).

Os efeitos negativos da presença de sais variam entre espécies e entre cultivares, algumas podem apresentar maior tolerância à salinidade (Zhao *et al.*, 2021). De acordo com os autores, espécies sensíveis as altas concentrações de sais podem apresentar menor taxa de germinação, desenvolvimento irregular e aumento da mortalidade das plântulas. Por outro lado, plantas adaptadas a ambientes salino, mesmo as glicófitas, possuem mecanismos que permitem a germinação em condições adversas (Assaha *et al.*, 2017).

2.1.2 mecanismos de defesa das espécies vegetais a presença de sais intracelular

A redução da germinação na presença de sais está relacionada a influencia negativamente na atividade de enzimas, como a α -amilase e a fitase. Essa enzima α -amilase é essencial para a mobilização de reservas energéticas, principalmente de amido armazenado nos tecidos de reservas, converte-os em açúcares simples, como a maltose e a glicose. A fitase, por sua vez, favorece a disponibilidade de minerais e fósforo durante a germinação. A quebra do amido é fundamental para o fornecimento de energia e carbono, no entanto, o estresse osmótico e iônico causados pelos altos níveis de sais, reduz a síntese e a atividade da amilase, comprometendo o crescimento da plântula pelo suprimento insuficiente de energia para a divisão e o alongamento celular, porém, a atividade dessas enzimas está relacionada ao vigor das sementes (Sommer *et al.*, 2024).

Tanto as espécies tolerantes, quanto as sensíveis a salinidade apresentam mecanismos adaptativos que podem atenuar esses efeitos, permitindo a manutenção parcial da atividade da amilase na presença de sais. O ajuste osmótico é um mecanismo adaptativo fundamental que permite às células vegetais manterem seu turgor e funcionalidade em condições de estresse osmótico (Blum, 2017; Zhao *et al.*, 2021).

A fim de equilibrar o gradiente osmótico, as células acumulam solutos compatíveis, conhecidos como osmólitos, como carboidratos solúveis (sacarose, trealose e sorbitol), proteínas, aminoácidos livres, glicina betaína e prolina (Ozturk *et al.*, 2021; Mehta e Vyas, 2023). Esses compostos ajudam a reduzir o potencial osmótico interno estabilizando as estruturas celulares como proteínas e as membranas, protegendo-as contra danos causados pelo estresse salino, permitindo o prosseguimento das atividades metabólicas, inclusive a respiração. Além disso, esse mecanismo é essencial para manter a hidratação celular, assegurando a continuidade da fotossíntese e com isso, promove o crescimento das plantas (Ozturk *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2021).

Além do ajuste osmótico, a regulação da concentração de íons tóxicos nas células, como sódio e cloreto, ocorre por meio de transportadores específicos de membranas, como bombas de H^+ - ATPases e transportadores de Na^+/H^+ , que sequestram íons de Na^+ no vacúolo ou os excluem para o apoplasto, reduzindo sua concentração no citoplasma (Michalak; Wdowikowska; Janicka, 2022). Paralelamente, ocorre a manutenção dos níveis de potássio (K^+), íon essencial para a atividade enzimática, estabilidade de membranas e crescimento celular (Assaha *et al.*, 2017). Esse processo é importante para viabilizar a embebição das sementes, o metabolismo inicial da semente e o desenvolvimento da plântula em ambientes salinos.

A eficácia no ajuste dos mecanismos de tolerância é variável entre espécies e cultivares e pode ser uma característica importante na seleção de plantas para cultivo em áreas afetadas pela salinidade. De acordo com Blum (2017) para que ajuste osmótico ocorra, é necessária uma redução no estado hídrico da planta para sinalizar acúmulo ativo de soluto orgânico ou inorgânico, como K^+ . O acúmulo de soluto é diretamente relacionado à taxa de redução no estado hídrico da planta, dependendo do genótipo, no entanto, requer tempo pois é um processo adaptativo. Dessa forma, processos de rápida desidratação não permite ajuste osmótico.

2.2 Ácidos orgânicos como agentes atenuantes dos estresses abióticos

Atenuadores ou elicitores de estresses abióticos em plantas são agentes ou práticas que ajudam a reduzir os impactos negativos de fatores ambientais

adversos, como seca (Melo-Sabogal e Contreras-Medina, 2024; Souza Neta *et al.*, 2024), salinidade (Pereira *et al.*, 2024), temperaturas extremas e radiação UV (Hosseini *et al.*, 2020) e contra patógenos (Gowtham *et al.*, 2024). Esses estresses podem prejudicar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas.

Os ácidos orgânicos, dentre eles, alguns hormônios vegetais desempenham um papel importante na atenuação dos estresses abióticos em plantas, principalmente por atuarem na regulação osmótica, na desintoxicação de íons tóxicos e no balanço energético (Melo-Sabogal e Contreras-Medina, 2024). Apesar de serem sintetizados pelas plantas, quando aplicados exogenamente, via foliar, ou por embebição das sementes, podem promover resposta de tolerância ao estresse (Souza Neta *et al.*, 2024; Pereira *et al.*, 2024; Gowtham *et al.*, 2024). A eficiência depende da dose, da espécie e cultivar, da intensidade e tipo de estresse e, por isso, sua aplicação deve ser estudada de modo específico.

2.2.1 Ácido giberélico

O ácido giberélico, por exemplo, é um hormônio vegetal da classe das giberelinas, essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Nas sementes, o ácido giberélico desempenha papel crucial na germinação ao estimular o crescimento do embrião e a mobilização de reservas nutricionais armazenadas no endosperma ou cotilédone (Shah *et al.*, 2023). As transformações fisiológicas e bioquímicas que ocorrem durante a germinação, seguidas por alterações morfológicas, estão intimamente ligadas à taxa de sobrevivência das mudas e ao seu crescimento vegetativo. Esses fatores, por sua vez, influenciam o rendimento e a qualidade da colheita (Ali; Elozeiri, 2017). De acordo com Castro-Camba *et al.* (2022) a presença de sais nas células vegetais inibe a expressão de genes responsáveis pela biossíntese de ácido giberélico, como GA20-oxidase e GA3-oxidase e, por isso, a germinação e crescimento das plântulas podem ser afetadas.

O processo de embebição das sementes reativa o metabolismo das sementes, inclusive a síntese de ácido giberélico (Ali; Elozeiri, 2017). A síntese desse hormônio ocorre a partir do geranylgeranyl difosfato, um precursor

derivado da via do melavolato, que é convertido em giberelinas intermediárias inativas e posteriormente em formas bioativas, por meio da ação de enzimas como GA 20-oxidases e GA 3-oxidase (Olszewski; Sun; Gubler, 2002). Posteriormente, o ácido giberélico é transportado para tecidos de reserva, onde estimula a produção de enzimas hidrolíticas, como a α -amilase, que mobilizam as reservas nutritivas para sustentar o crescimento do embrião (Ali; Elozeiri, 2017).

Outra resposta das plantas em condições de salinidade é o aumento na produção de ácido abscísico (ABA), um hormônio antagônico ao AG, inibindo a germinação (Liu *et al.*, 2018). Logo, a aplicação via embebição do AG₃ pode mitigar os efeitos negativos do estresse salino sobre a germinação e crescimento das plantas, por balancear a presença de AG e ABA intracelular, promovendo a retomada da mobilização de reservas α -amilase. No entanto, a eficácia do AG sob salinidade depende da concentração de sais e da tolerância da espécie à salinidade.

2.2.2 Ácido salicílico

O ácido salicílico (AS) é produzido naturalmente pelas plantas e desempenha papéis importantes no crescimento, desenvolvimento e na resposta ao estresse biótico e abiótico. É um fitormônio da classe dos fenóis, produzido na rota do ácido chiquímico, através de duas vias enzimáticas distintas. Na primeira, a enzima ácido benzoico-2-hidrolase converte o ácido benzoico em ácido salicílico na via dos fenilpropanóides. A segunda ocorre nos cloroplastos, a enzima sintase do isorismato, converte o corismato a isocorismato e posteriormente, a enzima isocorismato piruvato liase converte-o em ácido salicílico (Jia *et al.*, 2023).

Além de atuar no crescimento e desenvolvimento das plantas, o ácido salicílico atua no sistema de defesa das plantas, como regulador hormonal e sinalizador de várias respostas fisiológicas e metabólicas. Nas respostas aos estresses abióticos, o AS atua na adaptação a condições adversas, como seca, salinidade, calor e frio, e modulando a atividade de enzimas antioxidantes para reduzir danos por espécies reativas de oxigênio (Ding; Ding, 2020; Mishra *et al.*, 2024). A presença de sais pode estimular ou inibir a produção de ácido

salicílico, dependendo do nível de salinidade e da habilidade da planta em adaptar-se a essas condições adversas.

2.2.3 Ácido ascórbico

O ácido ascórbico, popularmente chamado de vitamina C, é uma substância orgânica encontrada nas plantas, exercendo uma função vital em seu metabolismo. Esse ácido orgânico desempenha um papel fundamental na regulação dos principais processos físico-químicos nas plantas. Em condições normais, participa de diversas atividades vegetais, como as reações redox nos cloroplastos, a fotossíntese, a germinação de sementes, a indução da floração, a expansão dos frutos, a regulação das espécies reativas de oxigênio (ROS) nas células, o sistema de defesa oxidativa, a estabilidade das membranas, o estado hídrico das plantas e a senescência, entre outros (Akram; Shafiq; Ashraf, 2017).

Na planta, a forma fisiologicamente ativa é o ascorbato, mas na maioria das espécies vegetais a concentração encontrada é insuficiente para promover efeitos positivos contra o estresse abiótico. De acordo Celi *et al.* (2023) a aplicação exógena de ácido ascórbico pode aumentar a capacidade antioxidante e amenizar os efeitos causados pelo estresse abiótico nas plantas. Os danos as membranas celulares são reduzidas, indicados através da redução da peroxidação lipídica.

Além disso, o ácido ascórbico atua como cofator enzimático, da violaxantina de-epoxidase (VDE) para eliminar indiretamente EROS. A VDE usa o ácido ascórbico como substrato para reduzir o pigmento xantofila violaxantina para zeaxantina, que é capaz de dissipar o excesso de energia de excitação no complexo de coleta de luz do fotossistema II e proteger o sistema de fotossíntese do estresse fotooxidativo. O ácido ascórbico também atua como regulador para coordenar as ações de várias vias de sinalização sob estresse abiótico (Xião *et al.*, 2021) e por isso, sob condições de estresse a planta pode responder positivamente, com ganho no crescimento e massa seca.

2.2.4 Hidrocondicionamento

O hidrocondicionamento de sementes é uma técnica que envolve a embebição controlada das sementes em água para ativar processos metabólicos sem permitir uma protrusão radicular. Esse tratamento de sementes melhora a tolerância das plantas ao estresse abiótico, como seca, salinidade e temperaturas extremas (Marthandan *et al.*, 2020). Durante o processo, a ativação metabólica prévia permite uma germinação mais rápida e uniforme, resultando em plântulas mais vigorosas e com melhor desenvolvimento inicial. Esse vigor inicial é essencial para enfrentar condições adversas, pois melhora a absorção de água e nutrientes, além de fortalecer a estrutura da planta, reduzindo os efeitos negativos de ambientes desfavoráveis.

Além disso, o hidrocondicionamento pode induzir respostas fisiológicas e bioquímicas que aumentam a resistência ao estresse. Ele estimula a produção de antioxidantes e proteínas protetoras, que ajudam a minimizar os danos celulares causados pelo estresse oxidativo (Marthandan *et al.*, 2020). Em condições secas, por exemplo, plântulas de arroz tendem a reduzir o tamanho do coleóptilo, plúmula e radícula e a produção açúcar, assim como a atividade da α -amilase. Porém quando pré-hidratadas, os danos pelo déficit hídrico são minimizados (Choi *et al.*, 2024). Em condições de salinidade o hidrocondicionamento favorece maior expressão de vigor, com a formação de maior número de plântulas normais e germinação mais rápida. Dessa forma, o hidrocondicionamento se destaca como uma estratégia eficiente para melhorar a resiliência das plantas em ambientes desafiadores.

2.3 Manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)

Espécies do gênero *Ocimum*, da família Lamiaceae, ocorrem naturalmente na América tropical, subtropical, África e Ásia. Dentre as espécies mais populares, *Ocimum basilicum* L., é conhecido como manjeriço ou manjeriço doce. No Brasil, essa espécie ocorre em toda as regiões por ser de fácil cultivo e por se adaptar as variações climáticas como as encontradas em um país continental (Antar, 2025; Azizah *et al.*, 2023). A sua propagação é realizada de forma sexuada e a germinação ocorre entre as temperaturas 6,11 e 43,58 °C, mas com maior percentagem entre 25 e 30 °C (Fallahi *et al.*, 2015).

No último censo agropecuário realizado em 2017 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a produção de 2.432 toneladas foi registrada, considerada baixa em comparação a outros países. Em 2023, a produção de manjeriço fresco somente do Estado do Havai nos EUA atingiu um recorde de 7.438,9 toneladas, avaliada em US\$ 39,1 milhões, segundo o Departamento de agricultura do Estado do Havai. De acordo com Globe News Wire (2020) o relatório *Basil leaves Market* apresenta que o mercado de folhas de manjeriço deve atingir 62 milhões de dólares até 2026, ante os 57 milhões atingidos em 2020.

A espécie atinge até 0,6 m de altura, com ramificações laterais formando ângulo de 30 graus com o ramo principal. O caule é redondo-quadrangular, glabro (liso, sem pelos) ou puberulento (pelos curtos e finos), concentrado nas duas faces opostas do caule. A inflorescência é densa com um total de seis flores circundando o ápice. As folhas apresentam coloração esverdeada, de formato ovalado ou elíptico ovalado e com ápice e agudo ou acuminado; as margens da folha é inteiramente ou esparsamente serrilhada e com um formato glandular-pontilhado. A corola apresenta um tubo de cor branca ou rosada em formato de funil e o cálice piloso (coberto com pelos longos e macios ou pubescente), tem um anel denso de pêlos na garganta, e um cálice frutífero tem cerca de 6 mm de comprimento (Azizah *et al.*, 2023). As sementes são pretas e elipsoides que se tornam mucilaginosas ao molhar (Gingade; Varghese; Manivel, 2014).

Rica em polifenóis, ácidos fenólicos, flavonóides, e outras substâncias, compostos de propriedades farmacológicas e por isso apresenta atividades antiinflamatórias, antioxidantes e antimicrobianas (Javanmardi *et al.*, 2002; Güez *et al.*, 2017). Suas folhas e caules apresentam compostos aromáticos, ricos em óleos essenciais, que promove a valoração em resposta ao aroma e sabor apreciados em diversos pratos (O'Leary, 2016).

Alguns estudos demonstram que o estresse salino causa redução dos parâmetros de crescimento do manjeriço que podem impactar a comercialização da cultura. De acordo com Sousa *et al.* (2021) a condutividade elétrica da água de irrigação de 4,90 dS m⁻¹ é suficiente para reduzir a produtividade da cultura, no entanto, a depender da cultivar, o nível de tolerância pode ser maior. A CE de aproximadamente 6 dS m⁻¹ não reduziu a

produtividade da cv. Purple Ruffles. Nessa cultivar, foi constatado aumento na concentração de metabólitos primários, como aminoácidos e prolina, e secundários, como os flavonoides (Ciriello *et al.*, 2024). O potencial osmótico de -0,3 MPa (8,3 dS m⁻¹) reduz a germinação abaixo de 80% de *O. basilicum* cv. basilicão verde. O nível de -0,6 MPa (16,6 dSm⁻¹) reduz a 20% de germinação e quando a diminuição do potencial osmótico é de -1,2 MPa, a germinação é nula (Trevizan *et al.*, 2020).

O processo germinativo é uma fase determinante para o estabelecimento da cultura sob déficit hídrico. Técnicas pré-germinativas, como o pré-condicionamento das sementes em ácidos orgânicos, hormônios vegetais, dentre outros agentes atenuadores do estresse abióticos, podem restabelecer a germinação de *O. basilicum*, principalmente, por ser uma estratégia econômica e, portanto, reduz o gasto de energia (Johnson; Puthur, 2021). Além disso, é uma técnica de curto prazo que pode melhorar o desempenho das culturas em ambientes estressantes (Devika *et al.*, 2021).

3. REFERÊNCIAS

AKRAM, N. A.; SHAFIQ, F.; ASHRAF, M. Ascorbic acid – A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance.

Frontiers in Plant Science, v. 8, n. 613, p. 1-17, 2017.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00613>

ALHARBI, K.; AL-OSAIMI, A. A., ALGHAMDI, B. A. Sodium Chloride (NaCl)-Induced Physiological Alteration and Oxidative Stress Generation in *Pisum sativum* (L.): A Toxicity Assessment. **ACS Omega**, v. 7, n. 24, p. 20819-20832, 2022. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01427>

ALI, A. S.; ELOZEIRI, A. A. Metabolic processes during seed germination. *In*: Jimenez-Lopes, J. C. **Advances in Seed Biology**: InTech, 2017.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.70653>

ALVES, R. S.; LUCENA, R. F. Numeral modeling of NE Brazil coastal aquifer: fault controlled conduits for seawater intrusion. **Journal American Earth Science**, v. 117, 103872, p. 1-12, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103872>

ALTAEY, D. K. A. Alleviation of salinity effects by poultry manure and gibberellin application on growth and peroxidase activity in pepper. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v. 2, n. 4, p. 1851-1862, 2017.

<https://doi.org/10.22161/ijeab/2.4.49>

AMARAL, K.; FERREIRA, D. M.; NAVONI, J. A. Assessment of brackish groundwater of the semi-arid region of Rio Grande do Norte: quality and impacts on subsistence farming activities. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 3, 2021. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30077>

ANTAR, G. M. *Ocimum* in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB117019>>. Acesso em: 23 jan. 2025.

ASSAHA, D.V. M.; UEDA, A.; SANEOKA, H.; AL-YAHYAI, R.; YAISH, M. W. The Role of Na⁺ and K⁺ Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes. **Front Physiol**, v. 18, n. 8, p. 509, 2017. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00509>

ATTA, K.; MONDAL, S.; GORAI, S.; SINGH, A. P.; KUMARI, A.; GHOSH, T.; ROY, A.; HEMBRAM, S. *et al.* Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 1241736, p. 1-21, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>

AZIZAH, N. S.; IRAWAN, B.; KUSMORO, J.; SAFRIANSYAH, W.; FARABI, K.; OKTAVIA, D.; DONI, F.; MIRANTI, M. Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) - A Review of Its Botany, Phytochemistry, Pharmacological Activities, and Biotechnological Development. **Plants** (Basel), v.12, n. 24, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12244148>

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant, Cell & Environment**, v.40, n. 1, p. 4-10, 2017. <https://doi.org/10.1111/pce.12800>

BRAGA, G. G., BECKER, V., OLIVEIRA, J. N. P., MENDONÇA JUNIOR, J. R., BEZERRA, A. F. M., TORRES, L. M., GALVÃO, Â. M. F.; MATTOS, A. Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 15–23, 2015. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2214>

CASTRO-CAMBA, R.; SÁNCHEZ, C.; VIDAL, N.; VIELBA, J. M. Interactions of Gibberellins with Phytohormones and Their Role in Stress Responses. **Horticulturae**, v. 8, n. 3, 241, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030241>

CELI, G. E. A.; GRATÃO, P. L.; LANZA, M. G. D. B.; REIS, A. R. Physiological and biochemical roles of ascorbic acid on mitigation of abiotic stresses in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 202, 107970, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107970>

CIRIELLO, M.; FUSCO, G. M.; COLLA, G.; KYRIACOU, M. C.; SABATINO, L.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y.; CARILLO, P. Adaptation of basil to salt

stress: Molecular mechanism and physiological regulation. **Plant Stress**, v. 11, 100431, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100431>

CHOI, J.-Y.; JU, Y.-H.; NAKAMICHI, A.; CHO, S.-W.; WOO, S.-H.; SAKAGAMI, J.-I. Effect of Seed Hydropriming on the Elongation of Plumule and Radicle During the Germination Process and Changes in Enzyme Activity Under Water-Deficient Conditions. **Plants**, v. 13, n. 24, 3537, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13243537>

CHOI, W-G.; MILLER, G.; WALLACE, I.; HARPER, J.; MITTLER, R.; GILROY, S. Orchestrating rapid long-distance signaling in plants with Ca²⁺, ROS and electrical signals. **The Plant Journal**, v. 90, n. 4, p. 698-707, 2017. <http://dx.doi.org/10.1111/tpj.13492>

DALIAKOPOULOS, I. N.; TSANIS, I. K.; KOUTROULIS, A.; KOURGIALAS, N. N.; VAROUCHAKIS, A. E.; KARATZAS, G. P.; RITSEMA, C. J. The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of The Total Environment**, v. 573, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>

DEPARTAMENT OF AGRICULTURE STATE OF HAWAII. **Market analysis and News Branch**: basil statistic State of Hawaii, 2023. Disponível em: https://hdoa.hawaii.gov/add/files/2024/10/Basil-Stats-2023-SOH_10.31.24.pdf. Acesso em: 23 jan. 2025.

DEVIKA, O. S.; SINGH, S.; SARKAR, D.; BARNWAL, P.; SUMAN, J.; RAKSHIT, A. Seed priming: a potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, 654001, p. 1-11, 2021. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001>

DING, P.; DING, Y. Stories of salicylic acid: a plant defense hormone. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 6, p. 549-565, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.004>

FALLAHI, H-R.; MOHAMMADI, M.; AGHHAVANI-SHAJARI, M.; RANJBAR, F. Determination of germination cardinal temperatures in two basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars using non-linear regression models. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 2, n. 4, 2015, p. 140-145, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.004>

GOWTHAM, H. G.; MURALI, M.; SHILPA, N.; AMRUTHESH, K. N.; ABDUL GAFUR, SARJIYA ANTONIUS, SAYYED, R. Z. Harnessing abiotic elicitors to bolster plant's resistance against bacterial pathogens, **Plant Stress**, v. 11, 100371, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100371>

GLOBE NEWS WIRE (2020). **Basil Leaves Market 2020 by Size, Types, Applications, Manufactures: Know Experts Detailed Analysis on Global Market by 2026**. Source: Absolute Reports Pvt Ltd. Disponível em: <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/07/16/2063044/0/en/Basil-Leaves-Market-2020-by-Size-Types-Applications-Manufactures-Know-Experts->

[Detailed-Analysis-on-Global-Market-by-2026.html#:~:text=North%20America%20is%20the%20largest,the%20global%20Basil%20Leaves%20market.](#)

Acesso em: 20 de jan 2025.

GÜEZ, C. M.; SOUZA, R. O.; FISCHER, P.; LEÃO, M. F. M.; DUARTE, J. A.; BOLIGON, A. A.; ATHAYDE, M. L.; ZURAVSKI, L.; OLIVEIRA, L. F. S.; MACHADO, M. M. Evaluation of basil extract (*Ocimum basilicum* L.) on oxidative, anti-genotoxic and anti-inflammatory effects in human leukocytes cell cultures exposed to challenging agents. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 53, n. 1, e15098, 2017. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902017000115098>

HOSSEINI, M. S.; ZAHEDI, S. M.; HOVEIZEH, N. F.; LI, L.; RAFIEE, M.; FAROOQ, M. Improving seed germination and seedling growth of guava under heat and osmotic stresses by chemical and hormonal seed treatments. **Bragantia**, v. 79, n. 4, p. 512–524, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200155>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário**: produção de manjeriço. 2017. Available: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/manjericao/br>. Accessed: 23 jan 2025.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **Delimitação do Semiárido Brasileiro**. Ministério da Integração Nacional. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-pdf/delimitacao-do-semiarido-brasileiro-2024.pdf/view>. Acesso em: 04 de fev 2024.

JAVANMARDI, J.; KHALIGHI, A.; KASHI, A.; BAIS, H. P.; VIVANCO, J. M. Chemical characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.) found in local accessions and used in traditional medicines in Iran. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 21, p. 5878-5883, 2002. <https://doi.org/10.1021/jf020487q>

JIA, X.; WANG, L.; ZHAO, H.; ZHANG, Y.; CHEN, Z.; XU, L.; YI, K. The origin and evolution of salicylic acid signaling and biosynthesis in plants. **Molecular Plant**, v. 16, n. 1, p. 245-259, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.12.002>

JOHNSON, R. PUTHUR, J. T. Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 247-257, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.034>

GINGADE, S.; VARGHESE, T. S.; MANIVEL, P. **Cultivation of Ocimum**. ICAR – Directorate of Medicinal and Aromatic Plants Research. Extension Bulletin, 2014. Boriavi. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304353239_Cultivation_of_Ocimum#full-text. Acesso em: 23 de jan 2025.

LIU, L.; XIA, W.; LI, H.; ZENG, H.; WEI, B.; HAN, S.; YIN, C. Salinity Inhibits Rice Seed Germination by Reducing α -Amylase Activity via Decreased Bioactive Gibberellin Content. **Frontiers Plant Science**, v. 9, n. 275, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00275>

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.

MARTHANDAN, V.; GEETHA, R.; KUMUTHA, K.; RENGANATHAN, V. G.; KARTHIKEYAN, A.; RAMALINGAM, J. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 21, 8258, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21218258>

MEHTA, D.; VYAS, S. Comparative bio-accumulation of osmoprotectants in saline stress tolerating plants: A review. **Plant Stress**, v. 9, 100177, p. 1-11, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100177>

MICHALAK, A.; WDOWIKOWSKA, A.; JANICKA, M. Plant Plasma Membrane Proton Pump: One Protein with Multiple Functions. **Cells**, v. 11, n. 24, p. 4052, 2022 <https://doi.org/10.3390/cells11244052>

MISHRA, S.; ROYCHOWDHURY, R.; RAY, S.; HADA, A.; KUMAR, A.; SARKER, U.; AFTAB, T.; DAS, R. Salicylic acid (SA)-mediated plant immunity against biotic stresses: An insight on molecular components and signaling mechanism. **Plant Stress**, v. 11, 100427, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100427>

O'LEARY, N. "Revisão taxonômica de *Ocimum* (Lamiaceae) na Argentina". **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 144, n. 1, p. 74-87, 2016. <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-14-00074.1>

OLSZEWSKI, N.; SUN, T. P.; GUBLER, F. Gibberellin signaling: biosynthesis, catabolism, and response pathways. **Plant Cell**, v. 14 (Supp), p. S61-80, 2002. <https://doi.org/0.1105/tpc.010476>

OZTURK, M.; UNAL, B. T.; GARCÍA-CAPARRÓS, P.; KHURSHEED, A.; GUL, A.; HASANUZZAMAN, M. Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. **Physiologia plantarum**, v. 172, n. 2, p. 1321–1335, 202. <https://doi.org/10.1111/ppl.13297>

PEREIRA, K. T. O.; SÁ, F. V. S.; TORRES, S. B.; PAIVA, E. P.; ALVES, T. R. C. Exogenous application of organic acids in maize seedlings under salt stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e250727, 2024. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.250727>

SHAH, S.H.; ISLAM, S.; MOHAMMAD, F.; SIDDIQUI, M. H. Gibberellic Acid: A Versatile Regulator of Plant Growth, Development and Stress Responses. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, 7352–7373, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11035-7>

SILVA, J. B.; DUARTE, S. M. A. Intermittent rivers of the Brazilian northeast: the case of Alto Paraíba, Brazil. **Ciência & Trópico**, v. 41, n. 2, 2017. Disponível em: <https://periodicos.fundaj.gov.br/CIC/article/view/1655>

SILVA, L. A. P.; SILVA, C. R.; SOUZA, C. M. P.; BOLFE, É. L.; SOUZA, J. P. S.; LEITE, M. E. Mapping of aridity and its connections with climate classes and climate desertification in future scenarios - Brazilian semi-arid region. **Sociedade & Natureza**, v. 35, e67666, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666x>

SOMMER, A. S.; COELHO, C. M. M.; PADILHA, M. S.; NERLING, D. Hydrolytic enzyme activity (phytase and α -amylase) is decisive in the germination metabolism of maize seeds under salt stress. **Science and Agrotecnology**, v.48, e003224, p. 1-11, 2024. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202448003224>

SOUSA, L. VI.; SILVA, T. I.; LOPES, M. F. Q.; LEAL, M. P. S.; BASÍLIO, A. G. S.; MELO FILHO, J. S.; LEAL, Y. H.; DIAS, T. J. Estrés salino e regulador do crescimento vegetal na albahaca: efeitos sobre as plantas e o solo. **DYNA**, v. 88, n. 217, p. 75-83, 2021. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.87633>

SOUZA, J. J. L. L.; CATRO, F. E.; ANDRADE, C. V. P. A.; KER, J. C.; PEREZ FILHO, A. Brazilian semiarid soils formed during the last glacial maximum. **Catena**, v. 223, 106899, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106899>.

SOUZA NETA, M. L.; TORRES, S. B.; PAIVA E. P.; CARVALHO, S. M. C.; LEITE, M. S.; GUIRRA, B. S.; MORAIS, M. B.; ALBUQUERQUE, C. C.; PEREIRA, K. T. O.; PEIXOTO, T. D. C.; SÁ, F. V. S. Osmotic adjustment and antioxidant activity of Cucumber seeds pré-treated with stress attenuators and subjected to drought stress during germination. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 43, p. 1919-1933, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11231-5>

RENGASAMY, P. Soil chemistry factors confounding crop salinity tolerance: a review. **Agronomy**, v. 6, n. 4, p. 1-11, 2016. <https://doi.org/10.3390/agronomy6040053>

SPARACINO, J., ARGIBAY, D. S., ESPINDOLA, G. Long-term (35 Years) Rainy and Dry Season Characterization in Semiarid Northeastern Brazil. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 377–391, 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-77863630138>

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). **Resolução CONDEL/SUDENE Nº 176, de 3 de janeiro de 2024**. Ministério da Integração Nacional. 2024. Disponível em: < <https://www.gov.br/sudene/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/hierarquia/resolucoes-conselho-deliberativo/resolucao-condel-sudene-no-176-de-3-de-janeiro-de-2024>>. Acesso em: 04 de fev. de 2025.

TREVIZAN, C. B.; BONACINA, C.; ALVES, A. C. G.; MAGALHÃES, H. M.; SOUZA, S. G. H. Germination and initial growth of basil seedlings subject to saline stress. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72040-72052, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-594>

XIÃO, M.; LI, Z.; ZHU, L.; WANG, J.; ZHANG, B.; ZHENG, F.; ZHAO, B.; ZHANG, H.; WANG, Y.; ZHANG, Z. The multiple roles of ascorbate in the abiotic stress response of plants: antioxidant, cofactor, and regulator. **Frontier of Plant Science**, v. 12, 598173, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.598173>

ZHAO, S.; ZHANG, Q.; LIU, M.; ZHOU, H.; MA, C.; WANG, P. Regulation of plant responses to salt stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 9, p. 4609, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijms22094609>

CAPÍTULO II – Germinação e tolerância a salinidade de cultivares de *Ocimum basilicum* L.

RESUMO: A salinidade afeta a germinação de diversas cultivares agrônômicas ao reduzir a absorção de água pelas sementes, devido ao estresse osmótico, comprometendo o metabolismo inicial da plântula. Estratégias como seleção de cultivares tolerantes, pode contribuir para contornar essa problemática, principalmente com aumento na taxa de germinação e uniformidade do crescimento. Objetivou-se determinar a tolerância a salinidade de cultivares de *Ocimum basilicum* L. na fase de plântulas. Para isso, seis cultivares de manjericão foram submetidas a três níveis de salinidade (CE a 25 °C corresponde a 4,13 μSm^{-1} (controle), 4,19 dSm^{-1} e 5,57 dSm^{-1}) e com base na Distância Euclidiana, foram definidos as cultivares tolerantes, moderadamente tolerantes e sensíveis ao nível salino de 5,57 dSm^{-1} . O processo germinativo, crescimento e a homeostase osmótica foram avaliados. O nível de salinidade de 5,57 dSm^{-1} causa estresse moderado nas cultivares de *Ocimum basilicum* L. A manutenção do crescimento ocorre devido a regulação osmótica, principalmente, em resposta ao conteúdo de açúcares e aminoácidos. A cv. Limoncino foi classificada como tolerante, enquanto a cv. Genaro de menta, sensível a salinidade 5,57 dSm^{-1} .

Palavras-chave: regulação osmótica; salinidade; horticultura.

ABSTRACT: Salinity affects the germination of various agronomic cultivars by reducing seed water uptake due to osmotic stress, compromising the initial metabolism of seedlings. Strategies such as selecting tolerant cultivars can help mitigate this issue, mainly by increasing germination rate and growth uniformity. This study aimed to determine the salinity tolerance of *Ocimum basilicum* L. cultivars at the seedling stage. Six basil cultivars were subjected to three salinity levels (EC at 25 °C: 4.13 $\mu\text{S m}^{-1}$ [control], 4.19 dS m^{-1} , and 5.57 dS m^{-1}), and based on Euclidean Distance, cultivars were classified as tolerant, moderately tolerant, or sensitive to a salinity level of 5.57 dS m^{-1} . The germination process, growth, and osmotic homeostasis were assessed. A salinity level of 5.57 dS m^{-1} caused moderate stress in *Ocimum basilicum* L. cultivars. Growth maintenance was attributed to osmotic regulation, mainly in response to sugar and amino acid content. The Limoncino cultivar was classified as tolerant, while the Genaro de Menta cultivar was sensitive to a salinity level of 5.57 dS m^{-1} .

Keywords: osmotic regulation; salinity; horticulture.

1. INTRODUÇÃO

A salinização do solo é um dos principais desafios para a agricultura, restringindo a viabilidade produtiva em diversas regiões. Estima-se que mais de um bilhão de hectares de terras agricultáveis ao redor do mundo sejam afetados por esse problema (Atta *et al.*, 2023). De acordo com os parâmetros de qualidade do solo, condutividade elétrica (CE) de 4 dS m⁻¹ gera uma pressão osmótica de aproximadamente - 0,2 MPa, indicando salinidade no solo (Acosta-Motos *et al.*, 2017). A partir desses níveis a salinidade reduz o rendimento da maioria das culturas devido aos efeitos causados pelas dificuldades de absorção de água e interferência nos processos metabólitos essenciais para a germinação e desenvolvimento vegetal (Munns *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2021; Atta *et al.*, 2023).

As características climáticas e geológicas de regiões semiáridas desempenham um papel crucial na formação de solos com elevadas concentrações de sais, causas da salinização primária. A alta evaporação favorece o transporte de água presente no solo, por capilaridade, juntamente com sais oriundos da dissolução de minerais presentes em rochas (Ribeiro; Ribeiro Filho e Jacomine, 2016). Enquanto a precipitação pluviométrica limitada reduz a capacidade de lixiviação dos sais, dificultando sua remoção da superfície do solo (Pedrotti *et al.*, 2015).

Além disso, existe a influência dos fatores físicos nos processos de formação e transformação do solo. A intemperização, por exemplo, pode levar a uma rápida acumulação de cálcio, magnésio, potássio e sódio, principalmente em climas mais secos e solo rasos onde a lixiviação é limitada, favorecendo assim o acúmulo de sais ao longo do tempo (Pedrotti *et al.*, 2015; Daliakopoulos *et al.*, 2016). Além dos processos físico-naturais as atividades antrópicas, salinização secundária, desempenham um papel significativo na intensificação da salinização dos solos (Ribeiro, Ribeiro Filho e Jacomine, 2016).

A água subterrânea extraída dos aquíferos, frequentemente caracterizada por médios e altos teores de sais dissolvidos, é amplamente utilizada na irrigação agrícola em regiões semiáridas devido à escassez de recursos hídricos superficiais. Porém, essa prática pode intensificar o processo de salinização do solo (Amaral, Ferreira e Navoni, 2021). Além disso, o uso de

fertilizantes somado com a ausência de um sistema de drenagem eficiente em áreas agricultáveis, que impede a lixiviação dos sais acumulados, aumenta progressivamente a salinidade do solo (Pedrotti *et al.*, 2015; Tarolli *et al.*, 2024).

Ocimum basilicum L., uma das principais plantas aromáticas cultivadas no mundo, é considerada moderadamente tolerante à salinidade induzida pelo NaCl. Sua capacidade de excluir íons Na⁺ nas raízes impede o acúmulo excessivo nas folhas, reduzindo os efeitos tóxicos (Ciriello *et al.*, 2024). No entanto, a tolerância de espécies vegetais à salinidade é uma característica variável que depende de vários fatores, incluindo a espécie, a cultivar, o estágio de desenvolvimento da planta e os níveis de salinidade (Dias *et al.*, 2016).

Algumas culturas possuem maior capacidade de suportar concentrações elevadas de sais, enquanto outras são mais sensíveis. No entanto, mesmo dentro de uma mesma espécie, diferentes cultivares podem apresentar níveis distintos de resistência à salinidade, devido a variações genéticas que influenciam mecanismos fisiológicos e bioquímicos adaptativos (Carvalho *et al.*, 2016; Sousa *et al.*, 2021). De acordo com Zhao *et al.*, 2021, espécies sensíveis as altas concentrações de sais podem ser afetadas desde o processo germinativa, com menor taxa de germinação, desenvolvimento irregular e aumento da mortalidade das plântulas, afetando a uniformidade das mudas.

Nesta perspectiva, estratégias de mitigação têm sido exploradas, entre as quais a seleção de plantas tolerantes à salinidade para produção e melhoramento genético em casos em que o controle da salinidade e recuperação do solo é difícil ou economicamente inviável (Soares Filho *et al.*, 2016). Assim, avaliar a tolerância de cultivares de *Ocimum basilicum* à salinidade pode viabilizar a produção agrícola em condições de salinidade, garantindo a produção dessa cultura e ampliando produtividade em regiões semiáridas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar tolerância a salinidade de cultivares de *Ocimum basilicum* L. na fase de plântulas.

2.2 Objetivos específicos

Estudar as respostas morfofisiológicas do processo germinativo de plântulas de cultivares de *O. basilicum* L. sob diferentes níveis de salinidade.

Selecionar cultivares de *O. basilicum* L. tolerantes e sensíveis ao estresse salino.

Avaliar a regulação osmótica por meio da quantificação de açúcares, aminoácidos e prolina.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Local de realização do experimento e obtenção dos lotes de sementes

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Fisiologia e Bioquímica de Plantas pertencente à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN e na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, Mossoró/RN, Brasil. As sementes das seis cultivares de manjeriço (Basilicão; Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi; Genaro de Menta; Grecco a Palla; Toscano Folha de Alface e Limoncino) foram obtidas junto a Isla sementes e armazenadas em câmara fria (16-18 °C e 40% de umidade relativa) durante toda a fase experimental.

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 3, com quatro repetições de 30 sementes. O primeiro fator constituído pelas cultivares e o segundo por três níveis de salinidade: 4,13 μSm^{-1} (controle - água destilada); 4,19 dSm^{-1} e 5,57 dSm^{-1} a CE da água foi medida a 25 °C. Os níveis de salinidade foram obtidos pela dissolução de cloreto de sódio (NaCl) em água destilada. As sementes foram semeadas em caixas Gerbox[®] sobre papel mata borrão umedecido com água destilada (controle) e água salina nos demais tratamentos. Posteriormente

foram incubadas em germinador sob a temperatura constante de 25 °C sob fotoperíodo de 16 horas luz e 8 horas escuro (Trevizan *et al.*, 2020).

3.3 Variáveis analisadas

A porcentagem de germinação foi contabilizada no décimo quarto dia após a semeadura (Brasil, 2025). O índice de velocidade de germinação foi determinado utilizando-se da fórmula de Maguire (1962):

$$IVG = \frac{N1}{G1} + \frac{N2}{G2} + \dots + \frac{Nn}{Gn}$$

Onde: IVG = Índice de Velocidade de germinação G1, G2, Gn = número de plantas normais germinadas na primeira, segunda, terceira, quarta, quinta, sexta e na última contagem. N1, N2, Nn = número de dias da semeadura à primeira, segunda, terceira, quarta, quinta, sexta e na última contagem.

O tempo médio de germinação foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Labouriau (1983), através de contagens diárias das sementes germinadas até 14° dia após a semeadura, sendo os resultados expressos em dias.

$$\bar{T} = \frac{\sum n_i t_i}{\sum n_i}$$

Onde \bar{T} =média ponderada; t_i = tempo de germinação; e n_i = número de sementes germinadas no tempo t_i .

Os comprimentos das partes aérea e raiz das plântulas normais foram aferidos ao fim do teste de germinação. O comprimento da parte aérea (medido do colo ao ápice da plântula) e da raiz primária (medida da base do colo à extremidade da raiz), mensurados com auxílio de uma régua graduada em centímetros. O comprimento total de plântulas foi obtido através do somatório do comprimento da parte aérea e raiz. Posteriormente, as plântulas foram fracionadas e suas partes acondicionadas em sacos de papel tipo *kraft* e postas para secar em estufa de circulação de ar forçado, a 65 °C por 72 horas,

seguidos de pesagem em balança com precisão de 0,0001 g, para obtenção da massa seca (MS) da parte aérea, raiz e total.

Para a quantificação dos osmólitos compatíveis foi obtido o extrato a partir da massa fresca previamente congelada em ultrafreezer a -20 °C. A matéria fresca foi macerada com nitrogênio líquido, posteriormente foram pesadas 0,2 g de cada amostra em triplicata e acondicionar em tubos Eppendorf rosqueado com veda. Foram adicionados 1 ml de álcool a 80% e homogeneizar em agitador. Em seguida, as amostras foram ao banho maria a 60 °C por 20 minutos, seguido de centrifugação a 10.000 RPM, sob resfriamento (4 °C) por 10 minutos. O sobrenadante foi retirado e acondicionado em tubos Falcon. O processo de adicionar a partir da adição de álcool foi repetido por mais duas vezes e o sobrenadante foi armazenado em congelador.

A quantificação de açúcares solúveis totais foi mensurada pela absorbância em 620 nm pelo método da Antrona (Yemm e Willis, 1954). A obtenção da curva padrão foi realizada tendo a glucose como substância padrão, seguida da adição de 2 ml do reagente Antrona, sob resfriamento. Os tubos contendo 200 µl de cada amostra foram agitados em vórtex e levados ao banho-maria à 100 °C por 3 min. Após resfriamento, a leitura da absorbância foi feita realizada em espectrofotômetro U.V. e os resultados expressos em µmol de GLU g⁻¹ de massa fresca.

Na determinação de aminoácidos livres totais, 50 µl do sobrenadante obtido no processo de extração com álcool foi utilizado para a quantificação dos teores de aminoácidos. Para isso, aplicou-se o método da ninhidrina ácida com a medição da absorbância a 570 nm (Yemm, Cocking e Ricketts, 1955). Para obter a curva, o aminoácido glicina foi utilizado como substância padrão, seguido da adição de 0,5 ml de tampão citrato de sódio (0,2 M e pH 5,0), 0,2 ml de ninhidrina 5% em metil Cellosolve e 1 ml de cianeto de potássio (KCN) 2% em metil Cellosolve. Após agitação em vórtex, as amostras foram submetidas ao banho-maria a 100 °C por 20 minutos para desenvolver a coloração (arroxeada), posteriormente foi adicionado 1,3 ml de álcool 60% e agitados novamente. Após resfriamento a leitura foi realizada em espectrofotômetro e os resultados expressos em µmol GLI g⁻¹ de massa fresca.

A determinação de prolina obedeceu à metodologia descrita por Bates, Waldren e Teare (1973). As concentrações de prolina foram determinadas com base em uma curva padrão obtida a partir de L-Prolina, medindo a absorvância em 520 nm. Em tubos de ensaio com tampa rosqueável, alíquotas de 300 µl do extrato bruto foram adicionados seguido de 1 ml de ninhidrina ácida e 1 ml de ácido acético glacial. Os tubos foram fechados e agitados, seguidos de banho-maria por 1h, a 100 °C. A reação é interrompida resfriando os tubos em banho de gelo. Após, adicionar 2 ml de tolueno, fechar os tubos e agitar vigorosamente em agitador de tubos de ensaio. O sobrenadante foi aspirado com pipeta de Pasteur, a leitura foi realizada em espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em µmol PRO g⁻¹ matéria fresca.

3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando detectados efeitos significativos pelo teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa computacional Sistema para Análise de Variância – Sisvar 5.7 (Ferreira, 2019) e os gráficos com auxílio do software Excel. As cultivares foram classificadas quanto a tolerância a salinidade (5,57 dSm⁻¹) por base da Distância Euclidiana como medida de dissimilaridade utilizando o software PAST4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre os níveis de salinidade e cultivares não promovem diferenças para a porcentagem de germinação (G) e o tempo médio de germinação (TMG) em plântulas de *O. basilicum* (Tabela 1). Por outro lado, de acordo com a análise da variação há interação significativa ($p < 0,05$) para o índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea, comprimento da raiz e comprimento total. De modo isolado, as cultivares apresentam diferenças na germinação e no TMG ($p < 0,05$). Assim como os níveis de salinidade promoveram efeitos diversos para o TMG ($P < 0,05$) (Tabela1).

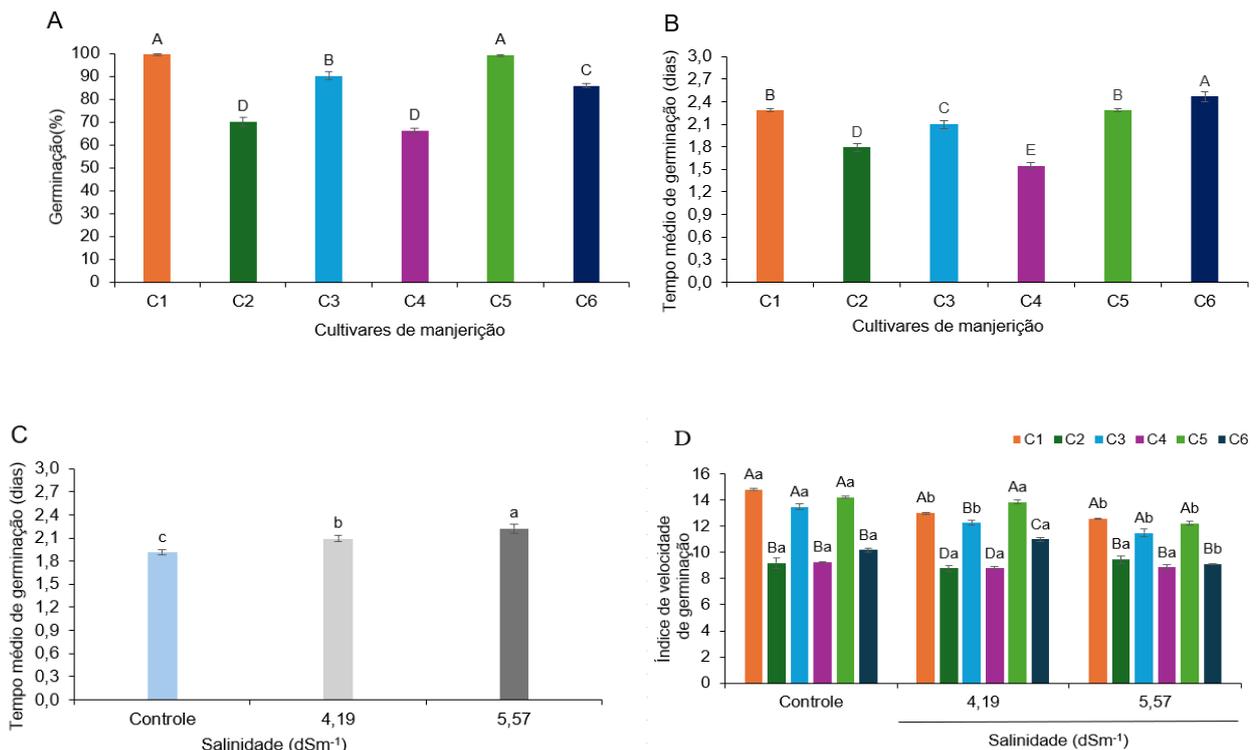
Tabela 1 - Análise da variância para a porcentagem de germinação (G), Tempo médio de germinação (TMG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), raiz (CR) e total (CT) de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade.

FV	GL	QMR					
		G (%)	TMG	IVG	CPA	CR	CT
Salinidade (S)	2	3,72 ^{ns}	0,55 ^{**}	9,1 ^{**}	0,29 ^{**}	0,34 ^{ns}	1,23 ^{**}
Cultivares (C)	5	2448,9 ^{**}	1,49 ^{**}	52,8 [*]	0,61 ^{**}	14,4 ^{**}	10,1 ^{**}
S x C	10	41,6 ^{ns}	0,08 ^{ns}	18,1 [*]	0,29 ^{**}	1,4 ^{**}	1,87 ^{**}
Erro	54	27,4	0,04	0,54	0,02	0,20	0,19
CV (%)		6,15	11,69	6,56	11,31	16,09	11,27

** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo. FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação

As cvs. Basilicão (C1) e Toscano folha de alface (C5) apresentaram elevada germinação independente dos níveis de salinidade, seguido da Genaro de menta (C3) e Limoncino (C6), acima de 80%. (Figura 1A). As menores taxas de germinação foram obtidas nas cvs. Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi (C2) e Grecco a Palla (C4), correspondendo a 70 e 66% (Figura 1A), no entanto, essas cultivares germinam em menor TMG (Figura 1B). O aumento do nível salino (5,57 dS m⁻¹) é diretamente promocional ao maior TMG (Figura 1C).

Figura 1 - Germinação (A) e tempo médio de germinação (B) entre cultivares; tempo de médio de germinação (C) entre os níveis de salinidade; e índice de velocidade de germinação (D) de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade. C1: Basilicão; C2: Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limoncino.



Letras iguais, maiúsculas comparam cultivares dentro de cada nível salino e minúsculas comparam níveis de salinidade, não diferem pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Fonte: elaborada pela própria autora.

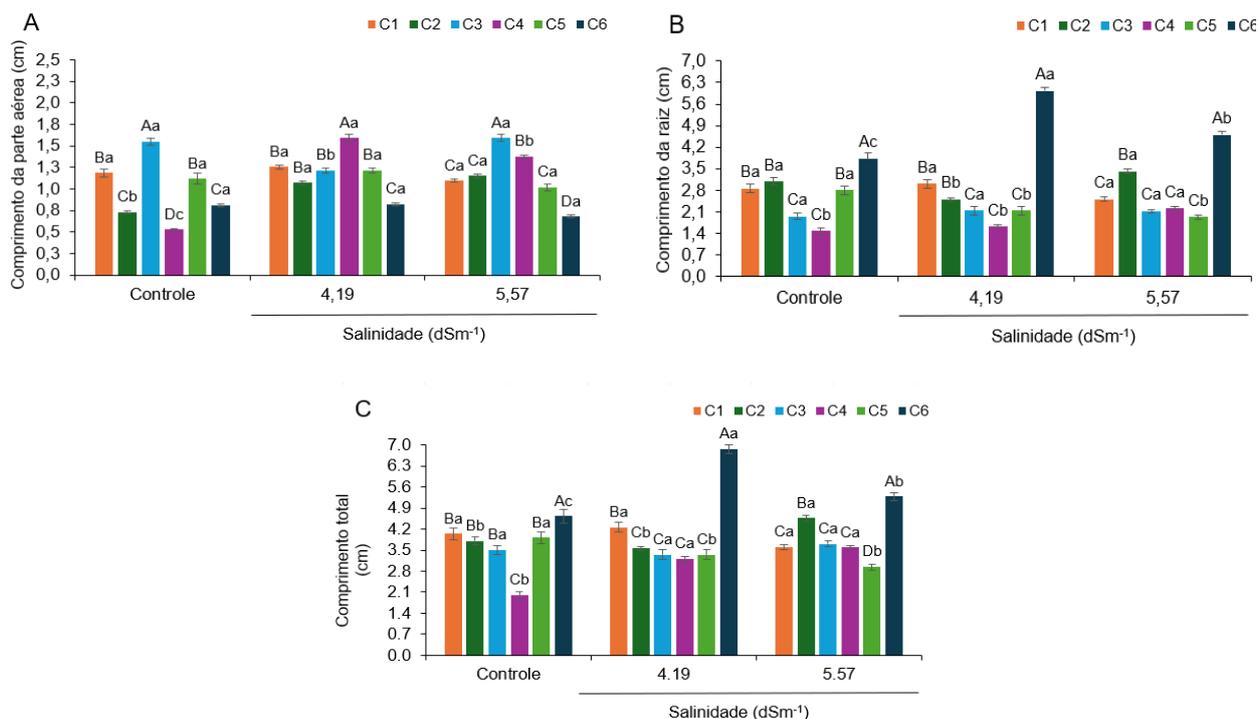
Durante a germinação, a biossíntese de GA é ativada, promovendo a degradação de inibidores do crescimento e facilitando a protrusão da raiz primária. Entretanto, condições adversas, como a salinidade, podem inibir a germinação ao reduzir a produção de GA (Lima; Oliveira; Meiado., 2020; Farooq *et al.*, 2022). Ao avaliar a porcentagem de germinação das cultivares manjericão de modo isolado pode-se concluir, erroneamente, que os níveis de salinidade podem ter sido insuficientes para comprometer a embebição e a ativação metabólica das sementes de manjericão, permitindo que a germinação ocorresse de maneira uniforme entre níveis de salinidade e por isso não houve diferença estatística. No entanto, a absorção de água pelas sementes é afetada pelo aumento da salinidade, segundo Munns *et al.* (2020), aumentando o tempo necessário para que a semente germine, como expresso pelo TMG. Esse resultado é corroborado pelo IVG, que reflete a rapidez com que as sementes germinam, ou seja, quanto maior o valor, maior é a velocidade de germinação (Krzyzanowski *et al.*, 2021) e para alguns cultivares de manjericão esse índice foi reduzido.

No nível de 4,19 dS m⁻¹, a C5 manteve o IVG elevado semelhante ao controle (13,8). Resultado semelhante foi obtido nas cultivares C2 e C3 no nível de 5,57 dS m⁻¹, quando comparados ao controle. Entre cultivares, o IVG nas C1, C3 e C5 se mantiveram elevados em todos os níveis de salinidade, mas quando comparados ao controle, houve reduções médias de 13,5% no nível de 5,57 dS m⁻¹, não diferindo estatisticamente entre si (Figura 1D). Logo, a redução do IVG em algumas cultivares sob estresse salino pode ser atribuída ao efeito osmótico, uma vez que, a alta concentração de sais reduz o potencial hídrico do meio, dificultando a absorção de água pelas sementes (Atta *et al.*, 2023). No entanto, esse comportamento é variável de acordo com nível de salinidade e depende da cultivar.

Especificamente para porcentagem de germinação, a diferença identificada pode ser relacionada as características genéticas que é variável entre as cultivares, mas também pode estar relacionada a viabilidade e a qualidade dos lotes de sementes. Nas cultivares C2 (Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi) e C4 (Grecco a Palla), por exemplo, os lotes de sementes podem estar comprometidos, já que a germinação corresponde a 70% e 66%, considerada baixa.

Dentre os níveis de salinidade a cv. C3 se destaca para o comprimento da parte aérea, com resultados semelhantes entre o controle e o nível de 5,57 dS m⁻¹, correspondendo a 1,5 e 1,6 cm. A C4 responde ao aumento dos níveis de salinidade com incremento de 220% e 180% para os níveis de 4,19 e 5,57 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 2A).

Figura 2 - Comprimento da parte aérea (A), raiz (B) e total (C) de plântulas de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade. C1: Basilicão; C2: Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limoncino.



Letras iguais, maiúsculas comparam cultivares dentro de cada nível salino e minúsculas comparam níveis de salinidade, não diferem pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: elaborada pela própria autora.

Embora essas cultivares apresentem maior CPA, a C6 apresentou raiz primária mais desenvolvida, principalmente no nível de 4,19 dSm⁻¹, alcançando 6 cm, com ganho de 57,9% quando comparado ao controle (Figura 2B). Para essa variável, a C2 apresenta comportamento semelhante entre o controle e maior nível salino, atingindo 3,3 cm médio de CR (Figura 2B). O CT das plântulas é impactado com os resultados apresentados, onde a C6 apresenta melhor desempenho nos dois níveis de salinidade, com ganho de 48,2% e 14,04% em relação ao controle (Figura 2C).

As plantas desenvolvem mecanismos adaptativos que podem levar a um incremento no crescimento inicial sob certas condições de estresse. A cv. Limoncino, por exemplo, investiu no crescimento radicular. Como consequência, a cv. Limoncino foi a que se destacou na formação de plântulas normais nos dois níveis de estresse salino. Essa adaptação do sistema radicular tem por objetivo explorar um maior volume de substrato em busca de água e nutrientes, recursos essenciais para o desenvolvimento da cultura (Zhang, Zhao e Zhu, 2020). De acordo com Mughal *et al.* (2024) a citocinina é um fitohormônio que regula processos fisiológicos críticos quando interage com outros hormônios vegetais, como o ácido abscísico, os jasmonatos e o etileno.

O déficit hídrico aumenta a superexpressão de citocinina, como resultado melhora a eficiência na atividade de enzimas antioxidantes e otimiza a arquitetura da raiz, o que pode ter ocorrido nas cultivares de *O. basilicum*. Por outro lado, a superacumulação desse hormônio vegetal pode comprometer a tolerância ao déficit hídrico.

Para o acúmulo de massa seca, a análise de variância demonstra efeito significativo ($p < 0,05$) para a interação das cultivares e os níveis de salinidade para a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), açúcares solúveis totais (AST), aminoácidos totais (AA) e prolina livre (PRO) (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise da variância para a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), açúcares solúveis totais (AST), aminoácidos totais (AA) e prolina livre (PRO) de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade.

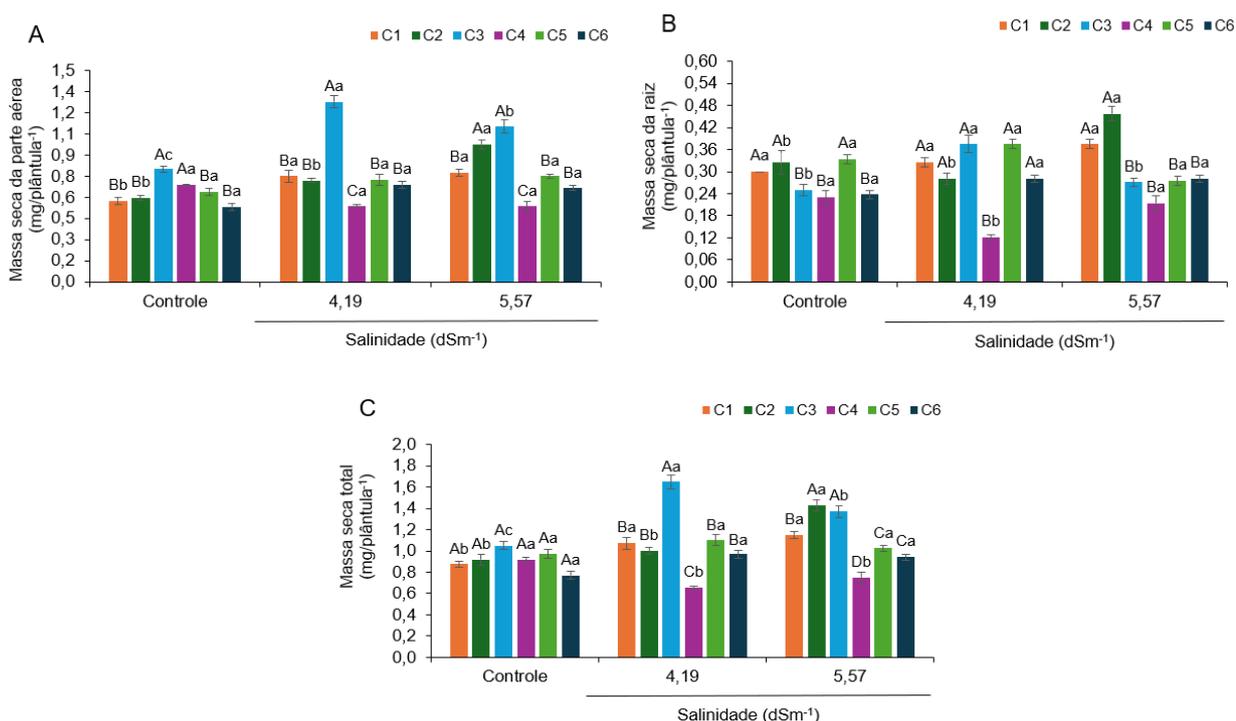
FV	G	QMR					
		L	MSPA	MSR	MST	AST	AA
Salinidade (S)	2	0,19**	0,007 ^{ns}	0,26*	40,8**	1552,9*	11,3**
				*		*	
Cultivares (C)	5	0,34**	0,04**	0,48*	12,5**	258,7**	0,7**
				*			
S x C	10	0,62**	0,02**	0,12*	8,05**	80,9**	2,5**
				*			
Erro	54	0,67	0,003	0,02	0,16	5,38	0,06
CV (%)		15,11	21,40	14,04	11,28	10,96	20,74

** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo. FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. Fonte: elaborada pela própria autora.

Semelhante ao CPA, a C3 apresenta ganho de MSPA, quando comparado ao controle, nos níveis salino de 4,19 e 5,57 dS m⁻¹, correspondendo a 62,5% e 37,5%, não diferindo da C2 no maior nível de salinidade (Figura 3A). E a menor MSPA foi identificada na C4, principalmente com aumento dos níveis de salinidade, com perda média de 22%, quando comparada ao controle (Figura 3A). Apesar da C6 ter apresentado maior CR

não é a que tem maior acúmulo de MSR. Para essa variável, a C2 acumula mais MSR, com ganho de 66,7% em relação ao controle, no entanto não difere da C1 na salinidade de 5,57 dS m⁻¹ (Figura 3B).

Figura 3 - Massa seca da parte aérea (A), raiz (B) e total (C) de plântulas de cultivares de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade. C1: Basilicão; C2: Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limoncino.



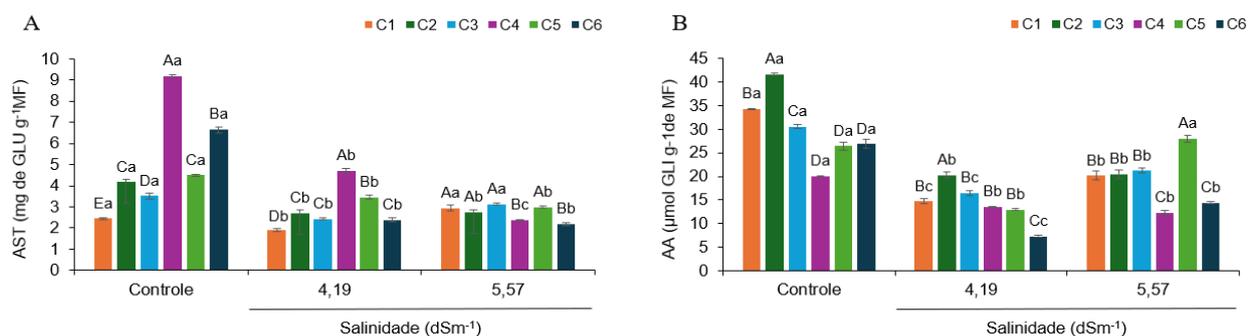
Letras iguais, maiúsculas comparam cultivares dentro de cada nível salino e minúsculas comparam níveis de salinidade, não diferem pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Fonte: elaborada pela própria autora.

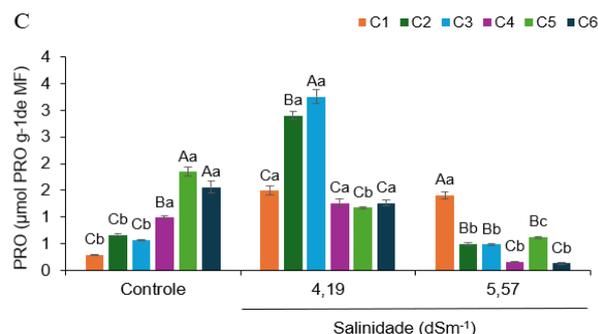
As cultivares C3 e C5 não diferiram na MSR no nível de 4,19 dS m⁻¹, com a última apresentando resultado semelhante ao controle. Em contrapartida, a C4 apresentou acúmulo de MSR no nível 5,57 dS m⁻¹ de salinidade semelhante ao controle (Figura 3B). A maior MST foi obtida no nível de 4,19 dS m⁻¹ na C3, com incremento de 57,1% em relação ao controle, no entanto, esse resultado não difere do obtido para a C2 no maior nível de salinidade (Figura 3C). O menor resultado para a MST, foi na C4 nos dois níveis de salinidade, correspondendo a 0,66 e 0,75 mg plântula⁻¹ (Figura 3C).

De modo generalista, é esperado que o estresse salino suprima o crescimento das plantas, no entanto, a redução do crescimento depende de vários fatores, como espécies de plantas, estágio de desenvolvimento e concentração de sal (Munns *et al.*, 2020). Os resultados de crescimento e massa seca das cvs de *O. basilicum* sugerem que a CE de até 5,57 dS m⁻¹ pode ser considerado moderado para o crescimento inicial, já que houve incremento no crescimento e na massa seca.

Provavelmente, o crescimento das plantas em condições de salinidade estar relacionado aos sinais bioquímicos que permitem a adaptação e a tolerância ao estresse salino. As cultivares de *O. basilicum* apresentam elevado teor de AST na ausência de salinidade com destaque para a C4 seguido da C6. No entanto, quando submetidas ao estresse salino, os teores de AST foram reduzidos no primeiro nível salino, correspondendo a 22,4%, 35,01%, 31%, 48,6%, 24,4% e 64,3%, respectivamente. Mas, no maior nível salino a C1 e C3 se mantiveram semelhantes ao controle (Figura 4C).

Figura 4 - Açúcares solúveis totais (A), aminoácidos totais (B) e prolina livre (C) de plântulas de cultivares de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a diferentes níveis de salinidade. C1: Basilicão; C2: Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limoncino.





Letras iguais, maiúsculas comparam cultivares dentro de cada nível salino e minúsculas comparam níveis de salinidade, não diferem pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pela própria autora.

As cultivares de manjeriço apresentaram concentrações elevadas de AA na ausência de salinidade. A C2 seguida da C1 apresentaram maiores concentrações, correspondendo a 41,7 e 34,3 µmol GLI g-1de MF, respectivamente (Figura 4B). No nível salino 4,19 dSm⁻¹, houve redução de aminoácidos totais para todas as cultivares, correspondendo a 57,3, 51,3, 46,2, 32,5, 50,9 e 73,1% para as cultivares C1 a C6, respectivamente, quando comparados ao controle. No maior nível salino (5,57 dSm⁻¹), o teor de aminoácidos na C5 foi semelhante ao controle, resultando em média de 27,19 µmol GLI g-1de MF (Figura 1B).

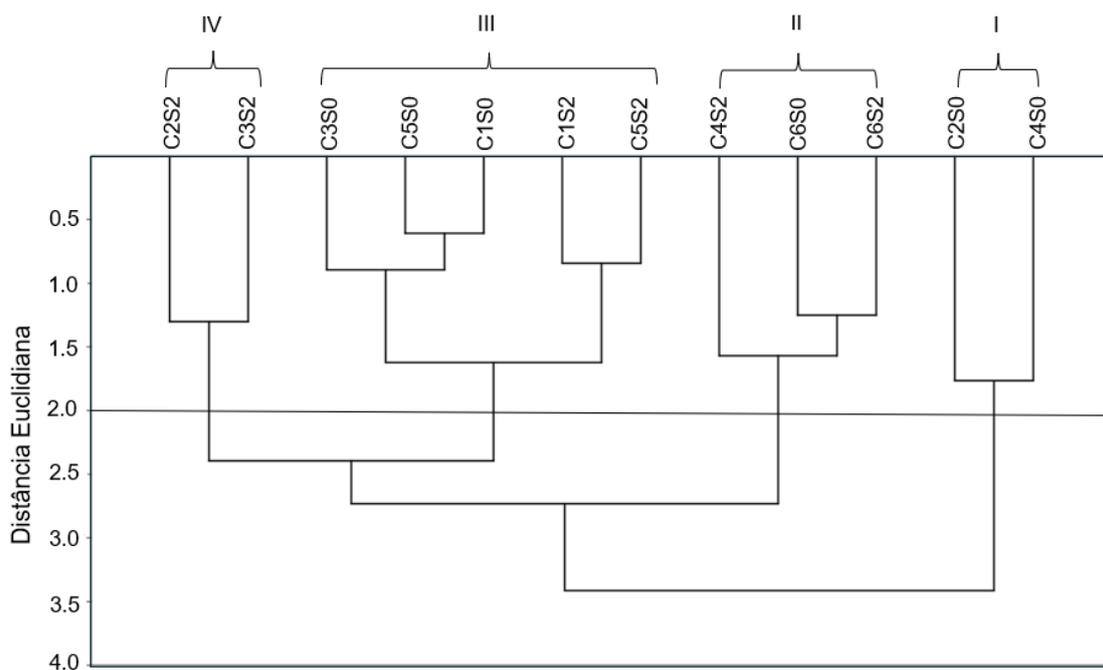
A salinidade de 4,19 dSm⁻¹ induz maior produção de prolina nas cultivares de manjeriço, C1, C2 e C3, com incremento de 410, 336,9 e 469,8% em relação ao controle (Figura 4C). Porém, o aumento da salinidade para 5,57 dSm⁻¹ reduz a síntese desse aminoácido, exceto para C1, que se mantém semelhante ao nível de 4.19 dSm⁻¹ (Figura 4C).

De acordo com Munns *et al.* (2020) a salinidade de 4,0 dSm⁻¹ é suficiente para causar danos ao crescimento para a maioria dos cultivos agrícolas. Essa redução do crescimento é uma estratégia de economia de energia para a sobrevivência das espécies vegetais, no entanto, não foi observado nas cultivares de *O. basilicum*, exceto pela cv. Toscano folha de Alface (C6) que teve o crescimento reduzido no nível 5,57 dSm⁻¹. Este fato pode ser atribuído ao maior acúmulo de osmoprotetores na condição de controle. Os açúcares, aminoácidos e prolina são considerados metabólitos primários, pois desempenham funções essenciais no metabolismo basal das plantas, sendo diretamente envolvidos no crescimento, desenvolvimento e sobrevivência celular (Salam *et al.*, 2023).

Os açúcares, são fontes primárias de energia por meio da respiração celular e os aminoácidos podem ser utilizados como uma fonte alternativa de energia necessária para o crescimento das plântulas, particularmente em resposta a estresse salino (Amir, Galili e Cohen, 2018; Salam *et al.*, 2023). Dessa forma, a homeostase celular pode ter favorecido o melhor desempenho das cultivares de *O. basilicum* sob estresse, por converter os açúcares e aminoácidos em adenosina trifosfato (ATP), como verificado através da redução dos níveis de açúcares e aminoácidos.

A partir da Distância Euclidiana, com corte a distância 2,0 ocorreu a formação de quatro grupos para os níveis de salinidade (S) e cultivares manjeriço (C). O primeiro grupo (I), mais distante, é caracterizado pelas cultivares Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi e Grecco a Palla no controle (ausência de salinidade). A partir do grupo II, os conglomerados foram caracterizados pelas cultivares com melhor índice de velocidade de germinação, crescimento e maior acúmulo de massa seca na condição de maior estresse ($5,57 \text{ dSm}^{-1}$), sendo em ordem das mais tolerantes: Grecco a Palla e Limoncino. No grupo III as cultivares Basilicão e Toscano folha de alface apresentam tolerância intermediária. Enquanto as cultivares Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi e Genaro de Menta apresentam menores desempenhos para as variáveis analisadas, resultando em sensíveis ao estresse salino, grupo IV (Figura 5).

Figura 5 - Dendrograma de dissimilaridade dos grupos formados pela combinação de níveis de salinidade (S) e cultivares (C) de manjeriço (C1: Basilicão; C2: Alfavaca Basilicão Vermelho Rubi; C3: Genaro de Menta; C4: Grecco a Palla; C5: Toscano Folha de Alface; C6: Limoncino).



Fonte: elaborado pela própria autora.

No grupo II, a falta de dissimilaridade para a cv. Limoncino ocorre em resposta da semelhança dos resultados obtidos nos dois níveis de salinidade (S0 e S1 = 5,57 dSm⁻¹), por isso, foi escolhida como tolerante. Vale salientar que essa cultivar apresenta germinação elevada (85,8%), diferente da cv. Grecco a Palla (66,1%) que também foi classificada como tolerante. Na escolha de cultivares tolerantes deve-se levar em conta a porcentagem de germinação, característica importante não somente para fins de comercialização, mas para garantir estande e uniformização em campo, principalmente sob condições de estresse abiótico.

O presente estudo indica que a espécie utiliza os açúcares e em seguida aminoácidos como aporte energético imediato e por isso, consegue dá prosseguimento ao crescimento das plântulas mesmo na condição desfavorável. Essa capacidade adaptativa é importante para as fases subsequentes ao processo germinativo. Na fase de mudas, 60 dias após o transplântio, Santos *et al.* (2023) verificaram que as cultivares Grecco a Palla e Limoncino foram tolerantes até a salinidade de 3,5 dS m⁻¹, chegando na fase reprodutiva.

5. CONCLUSÃO

O nível de salinidade de 5,57 dSm⁻¹ causa estresse moderado na formação de plântulas de cultivares de *Ocimum basilicum* L.

A manutenção do crescimento das cultivares diante o estresse salino ocorre devido a regulação osmótica. Provavelmente, as cultivares utilizam os osmólitos como fonte de energia, principalmente açúcares e aminoácidos.

A cv. Limoncino é classificada como tolerante, enquanto a cv. Genaro de menta é sensível, a salinidade 5,57 dSm⁻¹.

Estudos devem ser conduzidos nas fases subsequentes de crescimento durante o ciclo da cultura, visto que, outros mecanismos de respostas podem estar envolvidos na tolerância ao estresse salino.

6. REFERÊNCIAS

ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. **Agronomy**, v. 7, n. 1, p. 1-38, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>

AMARAL, K.; FERREIRA, D. M.; NAVONI, J. A. Assessment of brackish groundwater of the semi-arid region of Rio Grande do Norte: quality and impacts on subsistence farming activities. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 3, 2021. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30077>

AMIR, R.; GALILI, G.; COHEN, H. The metabolic roles of free amino acids during seed development. **Plant Science**, v. 275, p. 11-18, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.06.011>

ATTA, K.; MONDAL, S.; GORAI, S.; SINGH, A. P.; KUMARI, A.; GHOSH, T.; ROY, A.; HEMBRAM, S. *et al.* Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 1241736, p. 1-21, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00018060>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Regras para análise de sementes**. Brasília: SDA/ACS. 2025. Disponível em: <https://wikisda.agricultura.gov.br/pt-br/Laborat%C3%B3rios/Metodologia/Sementes/RAS_2024>. Acesso em: 14 de abril de 2025.

CARVALHO, J. S. B.; SILVA, A., D.; SILVA, V. M.; SILVA, J. F.; SOUZA, F. S. Efeito do estresse salino na germinação de sementes de *Ocimum basilicum* L. **International Refereed Journal of Scientific Research in Engineering**, v. 1, n. 4, p. 03-06, 2017. Disponível: <https://irjsre.com/Papers/Vol-2-issue-4/D20008.pdf>. Acesso em: 04 de abril 2025.

CELI, G. E. A.; GRATÃO, P. L.; LANZA, M. G. D. B.; REIS, A. R. Physiological and biochemical roles of ascorbic acid on mitigation of abiotic stresses in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 202, 107970, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107970>

CIRIELLO, M.; FUSCO, G. M.; COLLA, G.; KYRIACOU, M. C.; SABATINO, L.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y.; CARILLO, P. Adaptation of basil to salt stress: Molecular mechanism and physiological regulation. **Plant Stress**, v. 11, 100431, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100431>

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016, p. 151-162

FAROOQ, M.; KHAN, M. A.; ZHAO, D-D.; ASIF, S.; KIM, E-G.; JANG, Y-H.; PARK, J-R.; LEE, I-J.; KIM, K-M. Extrinsic role of gibberellin mitigating salinity effect in different rice genotypes. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 1041181, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1041181>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; GOMES-JUNIOR, F. G.; NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: Krzyzanowski, F.; Vieira, R. D.; França-Neto, J. B.; Marcos-Filho, J. (eds). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2 ed. Cidade: Abrates, 2021. P. 79-127.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983. 174 p.

LIMA, A. T.; OLIVEIRA, B. A.; MEIADO, M. V. Saline stress tolerance by gibberellin in cactos. **Communications in Plant Science**, v. 10, cps2020011, p. 80-84, 2020. <https://doi.org/10.26814/cps2020011>

MAGUIRE, J. D. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

MUGHAL, N.; SHOAIB, N.; CHEN, J.; LI, Y.; HE, Y.; FU, M.; LI, X.; HE, Y.; GUO, J.; DENG, J.; YANG, W.; LIU, J. Adaptive roles of cytokinins in enhancing plant resilience and yield against environmental stressors. **Chemosphere**, v. 364, 143189, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143189>

MUNNS, R.; DIA, D. A.; FRICKE, W.; WATT, M.; ARSOVA, B.; BARKLA; BOSE, J. BYRT, C. S.; CHEN, Z-H.; FOSTER, K. J.; GILLIHAM, M. Energy costs of salt tolerance in crop plants. **New Phytologist**, v. 225, n. 3, p. 1047-1048, 2020. <https://doi.org/10.1111/nph.15864>

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A.T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.19, n. 2, p. 1308-1324, 2015. <https://doi.org/105902/2236117016544>

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016, p.9-16.

SALAM, U.; ULLAH, S.; TANG, Z.-H.; ELATEEQ, A.A.; KHAN, Y.; KHAN, J.; KHAN, A.; ALI, S. Plant Metabolomics: An Overview of the Role of Primary and Secondary Metabolites against Different Environmental Stress Factors. **Life**, v. 13, n. 3, 706, 2023. <https://doi.org/10.3390/life13030706>

SANTOS, S. T.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, G. B. S.; OLIVEIRA, M. K. T.; ALVES, A. S.; CORDEIRO, C. J. X.; COSTA, M. J.; OLIVEIRA, C. E. A. Tolerance of basil cultivars to salt stress in semi-hydroponic cultivation. **Comunicata Scientiae**, v.14, e3429, 2023. <https://doi.org/10.14295/CS.v14.3429>

SOUSA, L. VI.; SILVA, T. I.; LOPES, M. F. Q.; LEAL, M. P. S.; BASÍLIO, A. G. S.; MELO FILHO, J. S.; LEAL, Y. H.; DIAS, T. J. Estrés salino e regulador do crescimento vegetal na albahaca: efeitos sobre as plantas e o solo. **DYNA**, v. 88, n. 217, p. 75-83, 2021. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.87633>

TAROLLI, P.; LUO, J.; PARK, E.; BARCACCIA, G.; MASIN. Soil salinization in agriculture: mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering. **iScience**, v. 27, n. 2, 108830, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.108830>

TREVIZAN, C. B.; BONACINA, C.; ALVES, A. C. G.; MAGALHÃES, H. M.; SOUZA, S. G. H. Germination and initial growth of basil seedlings subject to saline stress. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72040-72052, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-594>

YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino acid with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 2, p. 209-213, 1955. <https://dx.doi.org/10.1039/an9558000209>

YEMM, E.W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**. v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.
<https://doi.org/10.1042/bj0570508>

Zhang, H.; Zhao, Y.; Zhu, J-K. Thriving under stress: How plants balance growth and the stress response. **Developmental Cell**, v. 55, n. 5, p. 529-543, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.devcel.2020.10.012>

CAPÍTULO III - Tratamentos pré-germinativo e tolerância ao estresse salino em plântulas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)

Resumo: Atenuadores de estresse salino auxiliam na germinação de sementes ao reduzir os efeitos do estresse osmótico e iônico. Ao promover a absorção de água, estabilizam enzimas e aumentam a tolerância metabólica, resultando em maior taxa de germinação e desenvolvimento inicial mais uniforme. Logo, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de atenuadores do estresse salino na germinação e formação de plântulas de *O. basilicum* como tratamento pré-germinativo. Duas cultivares, Limoncino (tolerante) e a Genaro de menta (sensível) foram submetidas aos tratamentos pré-germinativos, correspondendo a combinação do estresse salino mais o agente atenuador do estresse: sem tratamento pré-germinativo e sem estresse salino; estresse salino (6,98 dSm⁻¹ de NaCl); Hidrocondicionamento + estresse salino; ácido giberélico + estresse salino; ácido salicílico + estresse salino; ácido ascórbico + estresse salino. O processo germinativo, crescimento e a homeostase osmótica foram avaliados. As cultivares de manjeriço respondem de formas distintas aos níveis de salinidade simulada por NaCl. A cv. Limoncino mantém o processo germinativo e a formação de plântulas normais sob o nível de salinidade de 6,98 dS m⁻¹, independentemente do pré-tratamento das sementes. A cv. Genaro de menta, a formação de plântulas é afetada sob salinidade de 6,98 dSm⁻¹. O pré-tratamento das sementes em ácidos, ascórbico e salicílico, promove a retomada do crescimento e formação de plântulas normais quando produzidas sob salinidade.

Palavras-chave: atenuadores do estresse salino; manjeriço; ajuste osmótico.

ABSTRACT: Salinity stress attenuators aid seed germination by mitigating the effects of osmotic and ionic stress. By enhancing water uptake, they stabilize enzymes and increase metabolic tolerance, leading to higher germination rates and more uniform early development. This study aimed to evaluate the effects of salinity stress attenuators on the germination and seedling formation of *Ocimum basilicum* as a pre-germination treatment. Two cultivars, Limoncino (tolerant) and Genaro de Menta (sensitive), were subjected to pre-germination treatments combining salinity stress with an attenuating agent: no pre-germination treatment and salinity stress; salinity stress (6.98 dS m⁻¹ NaCl); hydropriming + salinity stress; gibberellic acid + salinity stress; salicylic acid + salinity stress; ascorbic acid + salinity stress. Germination, growth, and osmotic homeostasis were evaluated. Basil cultivars respond differently to salinity levels simulated by NaCl. The Limoncino cultivar maintains germination and normal seedling formation under 6.98 dS m⁻¹ salinity, regardless of seed pre-treatment. In contrast, in the Genaro de Menta cultivar, seedling formation is affected under 6.98 dS m⁻¹ salinity. Pre-treatment with ascorbic and salicylic acids promotes growth recovery and normal seedling formation under salinity conditions.

Keywords: salinity stress attenuators; basil; osmotic adjustment.

1. INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira, que se estende por nove estados do Nordeste, além do norte de Minas Gerais e parte do Espírito Santo, apresenta uma dinâmica interação de fatores físico-geográficos que condicionam condições edafoclimáticas típicas da região (INSA, 2024). Com uma precipitação média anual de 749 ± 140 mm (últimos 35 anos) e taxas de evapotranspiração entre 1.200 e 2.200 mm/ano, a região enfrenta risco crescente de escassez hídrica e expansão de áreas áridas (Sparacino *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023), cenário que agrava processos de salinização do solo.

Fatores primários de salinização decorrem do acúmulo progressivo de sais solúveis no solo, processo intensificado pelas condições edafoclimáticas típicas do semiárido: solos rasos com baixa capacidade de retenção hídrica, aliados à escassez de chuvas e às elevadas taxas de evaporação (Daliakopoulos *et al.*, 2016). Essa combinação limita a lixiviação natural dos sais, concentrando-os principalmente nas camadas superficiais do solo (Souza *et al.*, 2023).

A nível mundial, a salinização é considerada a segunda principal forma de degradação do solo, ficando atrás apenas dos processos erosivos (Zaman, Shahid e Heng, 2018). A estimativa mais recente é que 73% da área terrestre mundial corresponda à solos salinizados, sendo dois terços localizados em áreas áridas e semiáridas (FAO, 2021). A expansão de áreas salinizadas e a elevada concentração de íons tóxicos no solo podem prejudicar severamente o crescimento vegetal, tanto em espécies nativas (comprometendo a regeneração natural dos ecossistemas) quanto em cultivos agrícolas, com impactos diretos na produtividade e, conseqüentemente, na segurança alimentar regional (Daliakopoulos *et al.*, 2016).

A elevada concentração de sais no solo e na água de irrigação compromete diretamente a germinação e o estabelecimento inicial das plantas, desencadeando uma série de respostas fisiológicas ao estresse (Atta *et al.*, 2023). Esse processo provoca significativas alterações metabólicas, à medida que as plantas tentam se aclimatar às condições salinas. Especificamente, o acúmulo excessivo de íons como Na^+ e Cl^- desencadeia o chamado estresse iônico, que interfere no balanço nutricional vegetal principalmente ao inibir a absorção de cátions de potássio (K^+) (Assaha *et al.*, 2017).

O cultivo de plantas medicinais tem assumido importância no comércio mundial em virtude de demandas na indústria farmacêutica, alimentícia e cosmética (Parvin *et al.*, 2023). O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), uma planta aromática rica em óleo essencial e aplicada para fins alimentícios e farmacológicos, teve reduzida produção de matéria vegetal quando comparada a outros países, com cerca de 2.432 toneladas registradas no último Censo Agropecuário, realizado em 2017 (O'Leary, 2016; IBGE, 2017). Fatores ambientais, como a salinidade podem ser uma das razões para reduzida produção.

A espécie, quando cultivada em condições de condutividade elétrica da água em $4,90 \text{ dSm}^{-1}$, reduz consideravelmente a sua produtividade, variando sua resposta fisiológica a depender da cultivar utilizada (Sousa *et al.*, 2021). Em potenciais de $-0,3 \text{ MPa}$ ($8,3 \text{ dSm}^{-1}$) a germinação da espécie é reduzida em até 80%, caindo para 20% ao dobrar os níveis de salinidade ($16,6 \text{ dSm}^{-1}$) (Trevizan *et al.*, 2020).

Dessa forma, compreender e desenvolver estratégias de mitigação aos danos do estresse osmótico pode ser uma alternativa ao cultivo em crescentes áreas de solos salinizados. Tratamentos pré-germinativos, como a embebição das sementes em agentes atenuadores, ou elicitores, tem demonstrado eficácia na mitigação de efeitos aos estresses abióticos, como a seca e a salinidade (Melo-Sabogal e Contreras-Medina, 2024; Pereira *et al.*, 2024; Souza Neta *et al.*, 2024).

Os ácidos orgânicos, incluindo hormônios vegetais, destacam-se como elicitores eficazes na atenuação de estresses abióticos, atuando em mecanismos como regulação osmótica, desintoxicação de íons e equilíbrio energético (Melo-Sabogal e Contreras-Medina, 2024). Quando aplicados exogenamente (via foliar ou embebição de sementes), potencializam respostas adaptativas, como síntese de antioxidantes e ajustes metabólicos, cuja eficiência varia conforme a dose, espécie vegetal e intensidade do estresse (Souza Neta *et al.*, 2024; Pereira *et al.*, 2024).

Diferentes mecanismos de ação podem ser observados nos ácidos orgânicos. O ácido giberélico (AG) promove a germinação sob salinidade ao reativar a biossíntese de giberelinas (GA20-oxidase e GA3-oxidase), inibida por excesso de sais (Castro-Camba *et al.*, 2022). Além disso, contrapõe os efeitos inibitórios do ácido abscísico (ABA), estimulando a produção de α -amilase para

mobilizar reservas energéticas do embrião (Ali e Elozeiri, 2017). Já o ácido salicílico (AS), modula a defesa antioxidante (superóxido dismutase, catalase) e reduz a absorção de Na^+/Cl^- , preservando a homeostase iônica (Ding e Ding, 2020; Mishra *et al.*, 2024).

O ácido ascórbico (AA) atua como cofator enzimático na dissipação de espécies reativas de oxigênio (EROs), protegendo membranas celulares contra peroxidação lipídica (Akram *et al.*, 2017). Sob estresse salino, sua aplicação exógena eleva a atividade da violaxantina de-epoxidase (VDE), convertendo violaxantina em zeaxantina para dissipar energia excessiva nos fotossistemas (Xião *et al.*, 2021).

Técnicas como o hidrocondicionamento potencializam esses efeitos ao induzir ativação metabólica prévia, aumentando a expressão de antioxidantes e proteínas protetoras (Marthandan *et al.*, 2020). Em sementes de arroz, por exemplo, a pré-hidratação minimiza danos por déficit hídrico e salinidade, assegurando germinação uniforme e vigor inicial (Choi *et al.*, 2024).

Investigar a aplicação de ácidos orgânicos em cultivares de manjeriço pode fornecer ferramentas eficazes para superar danos causados pela salinidade, garantindo a produtividade da espécie.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos da aplicação de atenuadores do estresse salino na germinação e formação de plântulas de *Ocimum basilicum* L.

2.2 Objetivos específicos

Definir agentes atenuantes dos efeitos do estresse salino em plântulas de *Ocimum basilicum* L.

Avaliar como ocorre a aclimação ao estresse salino por meio da quantificação de agentes osmoprotetores nas cultivares de *O. basilicum* após os tratamentos pré-germinativos.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Local de realização do experimento e obtenção dos lotes de sementes

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Fisiologia e Bioquímica de Plantas pertencente à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN e na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, Mossoró/RN, Brasil. As sementes das cultivares de manjeriço (Limoncino e Genaro de Menta) foram obtidas junto a Isla sementes e armazenadas em câmara fria (16-18 °C e 40% de umidade relativa) durante toda a fase experimental.

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x6, totalizando doze tratamentos com quatro repetições de 40 sementes. O primeiro fator corresponde as cultivares, e o segundo, aos tratamentos pré-germinativos, correspondendo a combinação do estresse salino (6,98 dSm⁻¹ de NaCl) mais o agente atenuador do estresse: sem tratamento pré-germinativo e sem estresse salino (testemunha); estresse salino; Hidrocondicionamento + estresse salino; ácido giberélico + estresse salino; ácido salicílico + estresse salino; ácido ascórbico + estresse salino.

Para a condução do teste de germinação, as sementes das cultivares selecionadas na ação de pesquisa I, Limoncino (tolerante) e Genaro de Menta (sensível), foram pré-tratadas através da embebição das sementes por 4h em agentes atenuadores do estresse salino. O período de hidratação e a concentração dos agentes atenuadores do estresse foi determinado com base em testes preliminares. Para isso, utilizou-se 3 folhas de papel do tipo Germitest[®], umedecidos 2,5 vezes o peso seco do papel com água (hidrocondicionamento) e em ácidos giberélico, salicílico e ascórbico na concentração de 50 mg L⁻¹. Posteriormente, as sementes foram semeadas em caixas Gerbox[®] sobre papel mata borrão umedecido com água destilada (4,13 µS m⁻¹) e água salina (6,98 dS m⁻¹) nos demais tratamentos. Posteriormente foram incubadas em germinador sob a temperatura constante de 25 °C sob fotoperíodo de 16 horas luz e 8 horas escuro (Trevizan *et al.*, 2020).

3.3 Variáveis analisadas

Inicialmente, o teor de água das sementes foi determinado com duas repetições de 4,5± 0,5 g e submetidas a estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas (BRASIL, 2025). O teor de água foi calculado com base na massa úmida e expresso em porcentagem, de acordo com a fórmula proposta por Cromarty, Ellis e Roberts (1985):

$$\text{Ganho de peso (\%)} = \frac{(P_f - P_i)}{P_i} \times 100$$

Onde, Pf: peso final (ganho de umidade a cada período de embebição) e Pi: peso inicial das sementes antes da embebição.

A porcentagem de germinação foi contabilizada no décimo quarto dia após a semeadura (Brasil, 2025). O índice de velocidade de germinação foi determinado utilizando-se da fórmula de Maguire (1962) e o tempo médio de germinação de acordo com Labouriau (1983).

Os comprimentos da parte aérea, raiz e total foram aferidos ao fim do teste de germinação. Medido do ápice da plântula à extremidade da raiz com auxílio de uma régua graduada em centímetros. Posteriormente, as plântulas foram fracionadas e suas partes acondicionadas em sacos de papel tipo *kraft* e postas para secar em estufa de circulação de ar forçado, a 65 °C por 72 horas, seguidos de pesagem em balança com precisão de 0,0001 g, para obtenção da massa seca (MS) da parte aérea, raiz e total.

Para a quantificação dos osmólitos compatíveis foi obtido o extrato a partir da massa fresca previamente congelada em ultrafreezer a -20 °C. A matéria fresca foi macerada com nitrogênio líquido, posteriormente foram pesadas 0,2 g de cada amostra em triplicata e acondicionar em tubos Eppendorf rosqueado com veda. Foram adicionados 1 ml de álcool a 80% e homogeneizar em agitador. Posteriormente, as amostras foram ao banho maria a 60 °C por 20 minutos, seguido de centrifugação a 10.000 RPM, sob resfriamento (4 °C) por 10 minutos. O sobrenadante foi retirado e acondicionado em tubos Falcon. O processo de adicionar a partir da adição de álcool foi repetido por mais duas vezes e o sobrenadante foi armazenado em congelador.

A quantificação de açúcares solúveis totais foi mensurada pela absorvância em 620 nm pelo método da Antrona (Yemm; Willis, 1954). A obtenção da curva padrão foi realizada tendo a glucose como substância padrão, seguida da adição de 2 ml do reagente Antrona, sob resfriamento. Os tubos contendo 100 µl de cada amostra foram agitados em vórtex e levados ao banho-maria à 100 °C por 3 min. Após resfriamento, a leitura da absorvância foi feita realizada em espectrofotômetro U.V. e os resultados expressos em µmol de GLU g⁻¹ de massa fresca.

Na determinação de aminoácidos livres totais, o sobrenadante obtido no processo de extração com álcool foi utilizado para a quantificação dos teores de aminoácidos. Para isso, aplicou-se o método da ninhidrina ácida com a medição da absorvância a 570 nm (Yemm; Cocking; Ricketts, 1955). Para obter a curva, o aminoácido glicina foi utilizado como substância padrão. Para determinação, em 40 µl das amostras, adiciona-se 0,5 ml de tampão citrato de sódio (0,2 M e pH 5,0), 0,2 ml de ninhidrina 5% em metil Cellosolve e 1 ml de cianeto de potássio (KCN) 2% em metil Cellosolve. Após agitação em vórtex, as amostras foram submetidas ao banho-maria a 100 °C por 20 minutos para desenvolver a coloração (arroxeada), posteriormente foi adicionado 1,3 ml de álcool 60% e agitados novamente. Após resfriamento a leitura foi realizada em espectrofotômetro e os resultados expressos em µmol GLI g⁻¹ de massa fresca.

A determinação de prolina obedeceu à metodologia descrita por Bates; Waldren; Teare (1973). As concentrações de prolina foram determinadas com base em uma curva padrão obtida a partir de L-Prolina, medindo a absorvância em 520 nm. Em tubos de ensaio com tampa rosqueável, alíquotas de 400 µl extrato bruto foram adicionados seguido de 1 ml de ninhidrina ácida e 1 ml de ácido acético glacial. Os tubos foram fechados e agitados, seguidos de banho-maria por 1h, a 100 °C. A reação é interrompida resfriando os tubos em banho de gelo. Após, adicionar 2 ml de tolueno, fechar os tubos e agitar vigorosamente em agitador de tubos de ensaio. O sobrenadante foi aspirado com pipeta de Pasteur, a leitura foi realizada em espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em concentração em µmol PRO g⁻¹ matéria fresca.

3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando detectados efeitos significativos pelo teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa computacional Sistema para Análise de Variância – Sisvar 5.7 (Ferreira, 2019) e os gráficos com auxílio do software Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise da variância, a interação entre as cultivares e atenuadores do estresse salino (C x A) foi significativa para o índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), raiz (CR), relação raiz/ parte aérea a 1% de probabilidade e, para o comprimento total, a 5% de probabilidade (Tabela 1). Para a germinação, o efeito foi isolado para as cultivares, ao nível de 99% de significância (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise da variância para a porcentagem de germinação (G), Tempo médio de germinação (TMG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), raiz (CR), total (CT) e relação raiz/ parte aérea (R/PA) de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a atenuadores do estresse salino.

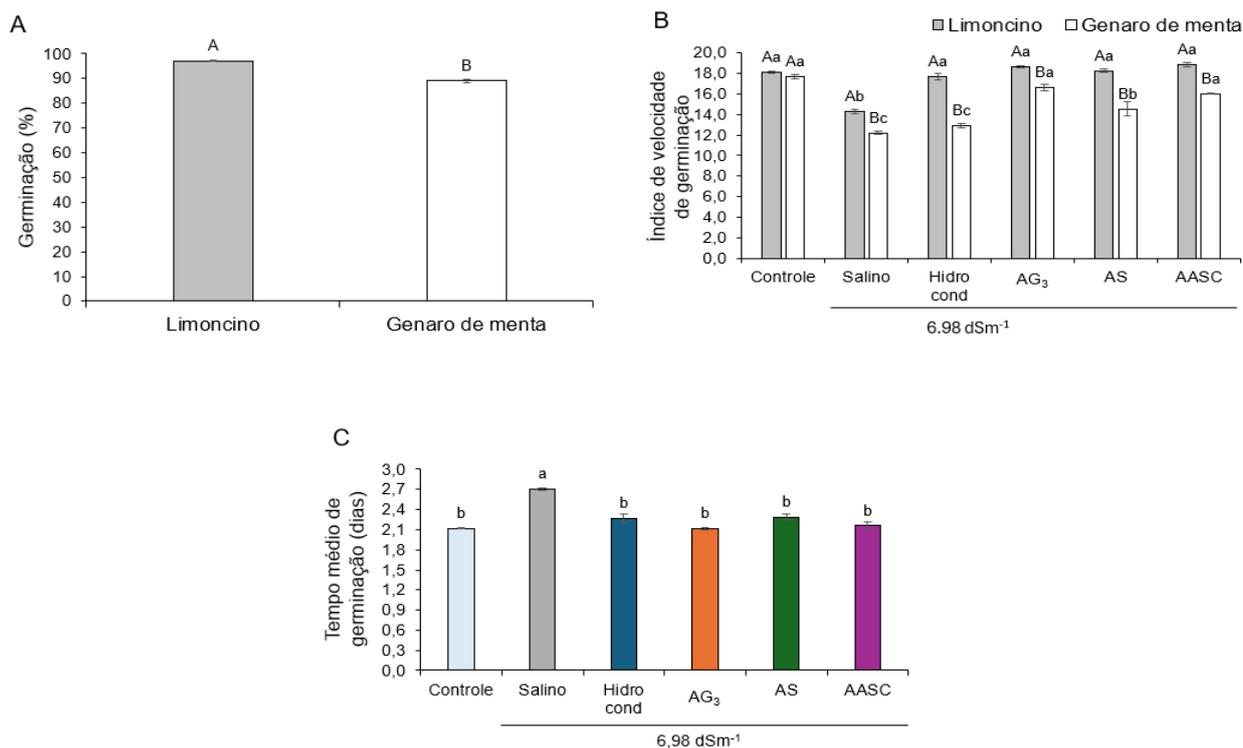
FV	GL	QMR						
		G (%)	IVG	TMG	CPA	CR	CT	R/PA
Cultivares (C)	1	772,0**	84,3**	0,08 ^{ns}	5,67**	45,2**	80,3**	2,73**
Aten. + sal (A)	5	27,6 ^{ns}	21,1**	0,42**	0,11**	2,25**	2,12**	0,59**
C x A	5	25,8 ^{ns}	4,6**	0,007 ^{ns}	0,27**	2,14**	1,73*	0,62**
Erro	36	701,6	1,19	0,03	0,03	0,42	0,50	0,10
CV (%)		4,7	6,71	7,3	7,9	19,68	12,95	20,49

**; * = significativo a 1% e 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo. FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação. Fonte: elaborado pela própria autora.

Apesar das cultivares apresentarem diferenças, ambas apresentam porcentagem de germinação elevada, correspondendo a 96 e 94%, para a cv. Limoncino e Genaro de menta. (Figura 1A). Independentemente do tratamento, a germinação se manteve acima de 80%. A qualidade e o vigor de sementes

que mantêm elevada germinação sob condições de salinidade são fatores cruciais para o estabelecimento e desenvolvimento inicial das plantas em ambientes salinos. Uma vez que sementes de alto vigor apresentam melhor desempenho em condições de estresse salino (Silva; Grzybowski; Panobianco, 2016). Por exemplo, sementes de milho de alto vigor mantiveram taxas de germinação superiores a 90% mesmo sob concentrações salinas de até 100 mol m⁻³ de NaCl (aproximadamente 10 dS m⁻¹), enquanto sementes de menor vigor apresentaram redução significativa na germinação nessas condições.

Figura 1 - Médias da porcentagem germinação (A), índice de velocidade de germinação (B) e tempo médio de germinação (C) de plântulas de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a atenuadores do estresse salino: hidrocondicionamento, ácido giberélico (AG₃), ácido salicílico (AS) e ácido ascórbico (AASC).



Médias seguidas da mesma letra, maiúscula comparam cultivares e minúsculas comparam combinações de atenuadores e níveis salinidade, não diferem pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: elaborada pela própria autora.

A porcentagem de germinação não pode ser o único padrão avaliado para determinar se uma espécie é tolerante ao estresse salino ou não. No

índice de velocidade de germinação (IVG), quando as cultivares são submetidas a condições ideais, como fornecidas no controle, apresentam índice elevado, 18,1 e 17,7 e não diferem entre si. Por outro lado, ao serem submetidas a salinidade de 6,98 dSm⁻¹ houve uma redução de 20,8 e 31%, respectivamente, demonstrando os efeitos da salinidade sobre as cultivares.

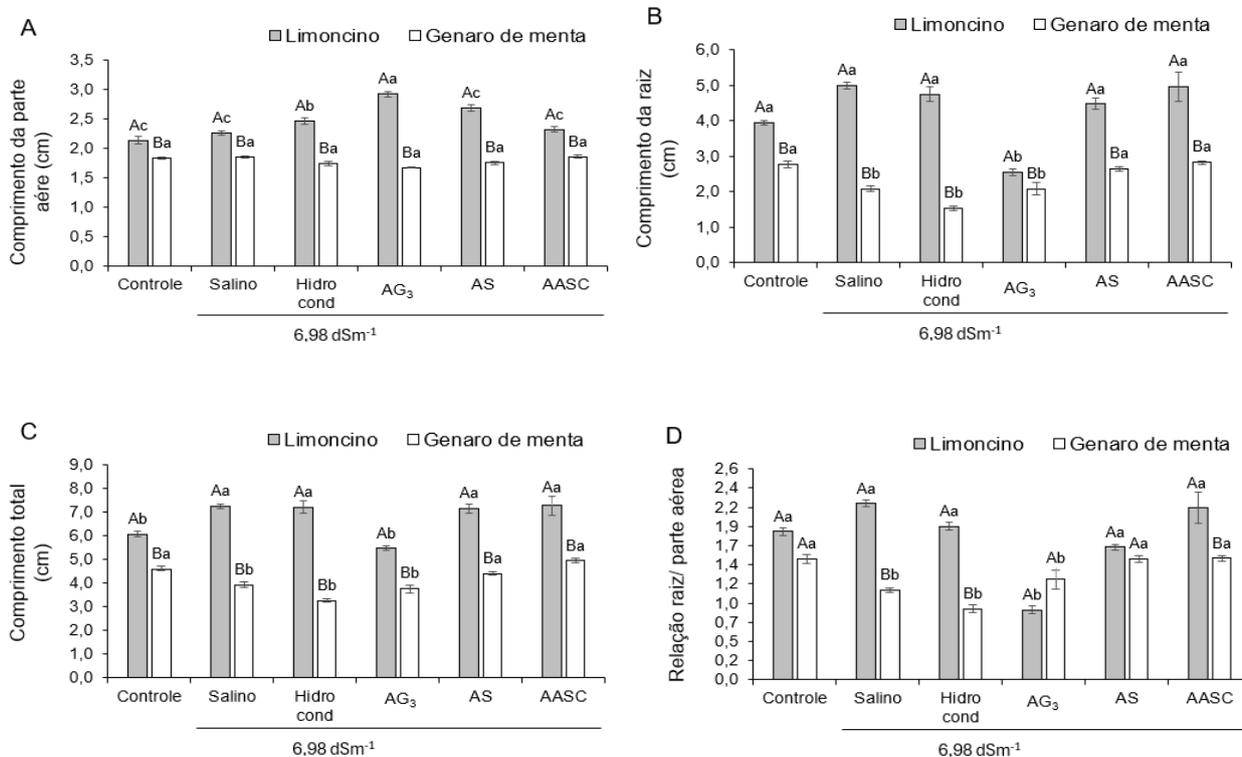
Na cv. Limoncino, todos os pré-tratamentos promoveram ação atenuante dos efeitos da salinidade, promovendo resultados semelhantes ao controle (Figura 1B). Na cv. Genaro de menta, somente os ácidos giberélicos (AG₃) e ascórbico (AASC) foram capazes de retomar o IVG obtido no controle (Figura 1B). O nível salino de 6,98 dSm⁻¹ promoveu aumento no período necessário para que ocorresse a germinação, como expresso pelo TMG. Mas o uso de todos os agentes atenuadores do estresse salino promoveu resultados, para o TMG, semelhante ao controle (Figura 1C).

A redução do IVG, comprova que a germinação ocorreu de forma mais lenta nas duas cultivares de manjerição, induzida pela presença de íons de Na⁺ e Cl⁻. De acordo com Taiz *et al.* (2017), a redução da velocidade com que a água penetra nos tecidos da semente para alcançar o embrião, resulta em uma redução do turgor celular e impacta tanto a divisão quanto a expansão celular. No entanto, o que é observado para a cv. Limoncino foi a formação de uma plântula normal, como expresso pelas variáveis de crescimento e relação raiz/ parte aérea no nível de 6,98 dSm⁻¹. A retomada do IVG na cv. Genaro de menta reforça a importância dos tratamentos pré-germinativos, principalmente dos fitohormônios como GA₃ e SA, que promovem melhor desempenho da cultivar na atenuação dos efeitos do estresse salino durante a germinação (Ahmad *et al.*, 2021), assim como em AASC (Celi *et al.*, 2023).

Para o CPA o nível de salinidade (6,98 dSm⁻¹) não promoveu resultado distinto do controle em ambas cultivares. No entanto, quando as sementes da cv. Limoncino foram pré-embebidas em água (hidrocondicionamento) e no ácido giberélico, obteve ganho superiores a 14 e 36%, respectivamente, quando comparado ao tratamento controle. A cv. Genaro de menta manteve o CPA médio de 1,8 cm (Figura 2A).

Figura 2 - Médias do comprimento da parte aérea (A), raiz (B), total (C) e relação raiz/ parte aérea (D) de plântulas de cultivares de manjerição (*Ocimum*

basilicum L.) submetidas a atenuadores do estresse salino: hidrocondicionamento, ácido giberélico (AG₃), ácido salicílico (AS) e ácido ascórbico (AASC).



Médias seguidas da mesma letra, maiúscula comparam cultivares e minúsculas comparam combinações de atenuadores e níveis salinidade, não diferem pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: elaborada pela própria autora.

Em relação ao CR, a presença de sais induziu o aumento da raiz na cv. Limoncino, com ganho de 26,6%, em relação ao controle. Esse resultado não difere dos encontrados aos tratamentos com hidrocondicionamento, ácido salicílico e ácido ascórbico (Figura 2B). Em contrapartida, na cv. Genaro de menta a salinidade reduziu o crescimento radicular em 24,8%, em relação ao controle. Mas quando pré-tratadas nos ácidos salicílico e ascórbico, o CR retoma, com média de 2,6 cm, estatisticamente semelhante ao controle (Figura 2B).

Comportamento semelhante ao CR foi obtido para o CT, enquanto a cv. Limoncino teve a formação de plântulas aumentada na presença de sais, não diferindo entre os agentes atenuadores do estresse, exceto com o uso do ácido giberélico que reduziu ainda mais o crescimento da plântula (Figura 2C). Por

outro lado, a cv. Genaro de menta foi afetada negativamente, com redução do CT em 14,5% do controle para o salino. Mas, com ganhos de 11,9 e 25,5%, para os ácidos salicílico e ascórbico, respectivamente, quando comparados ao estresse salino (Figura 2C).

A relação raiz/ parte aérea não foi afetada pelo aumento do nível de salinidade na cv. Limoncino, mas a cv. Genaro de menta foi afetada negativamente, correspondendo a uma redução de 26% quando comparado ao tratamento controle (Figura 2D). O tratamento com os ácidos salicílico e ascórbico favoreceram a R/PA das plântulas em média de 35,8% mesmo sob estresse salino de 6,98 dSm⁻¹ (Figura 2D).

A estrutura do sistema de raízes, como o comprimento, influencia diretamente a eficiência radicular, especialmente em condições de escassez de água. Isso possibilita que as plântulas capturem água e nutrientes durante as etapas de crescimento posteriores. Raízes bem desenvolvidas favorecem o crescimento dos brotos e aumentam a produtividade das plantas, já que atuam como um elo entre as plantas e o solo (Acosta-Motos *et al.*, 2017).

Para a massa seca, a análise de variância demonstra não haver interação significativa para as cultivares e os atenuadores do estresse salino (C x A). No entanto, para a massa seca da parte aérea (MSPA) o efeito foi isolado para as cultivares (p<0,05). Para os atenuadores do estresse salino, o efeito isolado também é identificado para a MSPA e massa seca da raiz (p<0,01) (Tabela 2). Na quantificação de osmólitos, verifica-se efeito significativo (p<0,01) para os açúcares solúveis totais (AST), aminoácidos totais (AA) e prolina livre (PRO) (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise da variância para a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), açúcares solúveis totais (AST), aminoácidos totais (AA) e prolina livre (PRO) de cultivares de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a atenuadores do estresse salino.

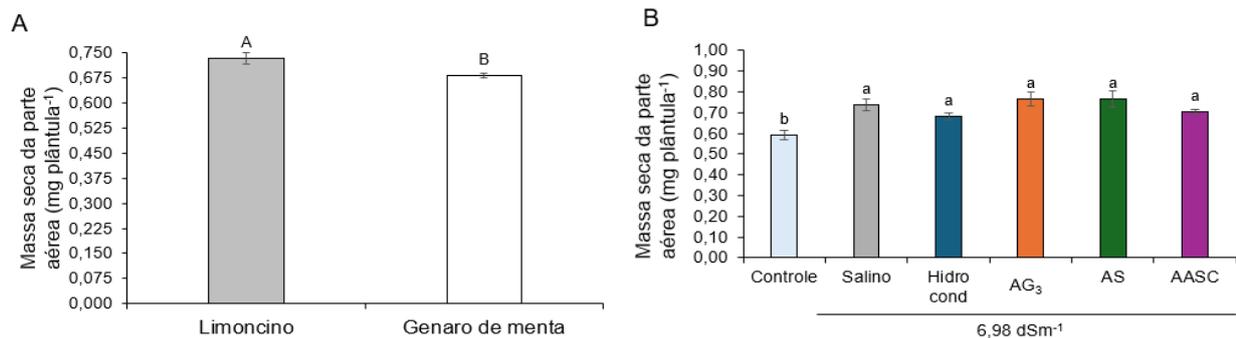
FV	GL	QMR					
		MSPA	MSR	MST	AST	AA	PRO
Cultivares (C)	1	0,03*	0,00005 ^{ns}	0,03ns	733,5**	314,7**	9,42**
Aten. + sal.	5	0,04**	0,004**	0,03*	72,6**	223,2**	0,23**

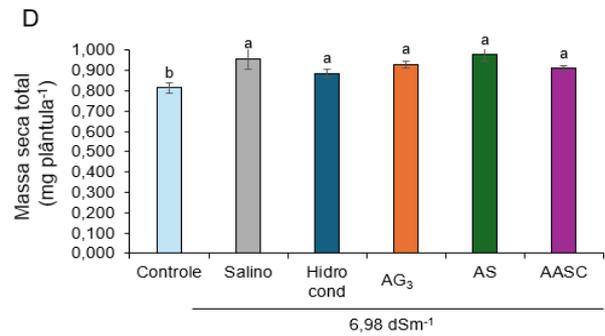
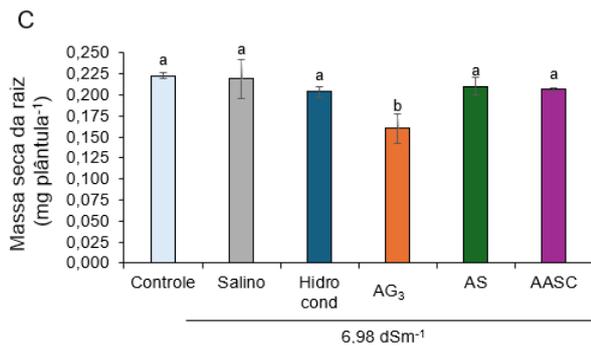
(A)							
C x A	5	0,007 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,009 ^{ns}	53,1 ^{**}	350,4 ^{**}	0,48 ^{**}
Erro	36	0,006	0,0008	0,008	4,38	11,6	0,03
CV (%)		10,8	14,3	9,63	25,9	13,7	16,0

Fonte: elaborada pela própria autora.

Para a MSR, apesar da diferença estatística entre as cultivares, a cv. Limoncino apresentar apenas 7,6% de massa seca a mais que a cv. Genaro de menta (Figura 3A). O efeito isolado demonstra que a MSPA se manteve elevada independentemente dos tratamentos, inclusive com aumento médio de 23,7%, do controle para os demais tratamentos na presença de sais (Figura 3B). Por sua vez, a MSR também não sofreu redução no nível salino 6,98 dSm⁻¹, e se manteve constante quando as sementes foram pré-tratadas nos atenuadores do estresse salino, exceto quando aplicado o ácido giberélico, que reduziu ainda mais a MSR (Figura 3C). Em consequência, a MST não foi reduzida, em todos os tratamentos salino (Figura 3D).

Figura 3 - Médias da massa seca da parte aérea para efeito isolado das cultivares (A); para a combinação dos atenuadores com os níveis de salinidade: massa seca da parte aérea (A e B); raiz (C) e total (D) de plântulas de cultivares de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a atenuadores do estresse salino: hidrocondicionamento, ácido giberélico (AG₃), ácido salicílico (AS) e ácido ascórbico (AASC).





Médias seguidas da mesma letra, maiúscula comparam cultivares e minúsculas comparam combinações de atenuadores e níveis salinidade, não diferem pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: elaborada pela própria autora.

Todos os atenuadores, mitigaram os efeitos da salinidade no índice de velocidade de germinação na cv. Limoncino, no entanto, os parâmetros de crescimento não foram superiores aos encontrados na condição de estresse salino. Esse resultado reafirma a tolerância dessa cultivar a salinidade de até 6,98 dSm⁻¹. Neste caso, para causar reduções no crescimento seria necessário aumentar o nível de salinidade aplicada, já que as sementes mantêm a absorção de água e culmina na formação de plântulas normais bem desenvolvidas. Todavia, é interessante uma investigação mais profunda sobre os mecanismos de adaptação das cultivares de manjerição, que pode ser além do ajuste osmótico, podendo ocorrer através da homeostase iônica e defesa antioxidante (Akram, Shafiq e Ashraf, 2017; Ciriello *et al.*, 2024).

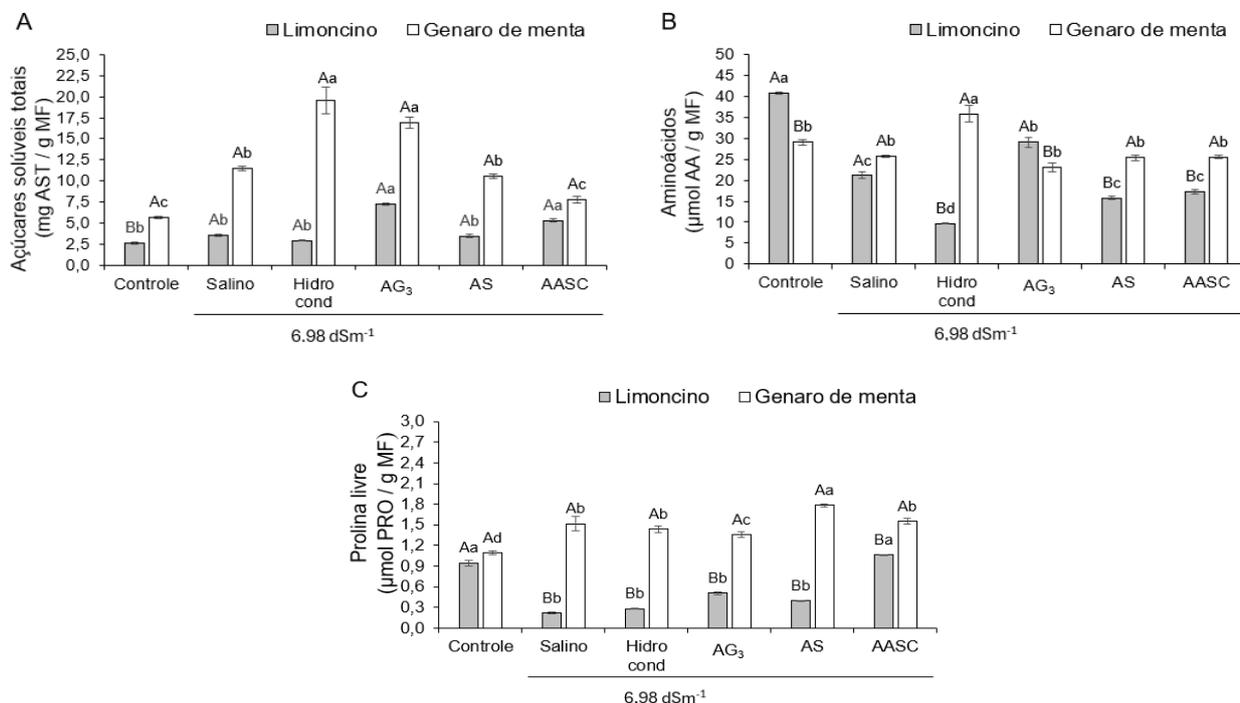
A cv. Genaro de menta apesar de apresentar porcentagem de germinação menor que a Limoncino, ainda apresentou uma germinação considerada elevada (89%). Geralmente para fins de comercialização, a maiorias das espécies agrícolas devem apresentar porcentagem de germinação acima de 80-85% e a manutenção dessa porcentagem mesmo sob déficit hídrico demonstra que as sementes apresentam viabilidade elevada. No entanto, o que caracteriza essa cultivar como sensível ao nível de 6,98 dS m⁻¹, é a redução do IVG, e das características de crescimento, como CR, CT, da relação raiz/parte aérea.

Para a cv. Genaro de menta, o aumento do IVG sob salinidade fora obtido quando as sementes foram pré-tratadas em AG₃ e ácido ascórbico, semelhante ao controle. Porém, a retomada do CR só foi possível quando a embebição foi realizado em ácido ascórbico e ácido salicílico. No entanto, não

inferiu sobre o crescimento total das plântulas, que se mantiveram igual as obtidas no estresse salino. A ação dos ácidos ascórbico e salicílico foi refletido na relação raiz/parte aérea, com resultados semelhantes aos encontrados no controle.

Na cv. Limoncino não foi identificada maior produção de AST quando comparada a cv. Genaro de menta (Figura 4A). Entre atenuadores do estresse, o pré-tratamento em AG₃ promoveu aumento em 181,9% no acúmulo de AST em relação ao controle, não diferindo do AASC. Na cv. Genaro de menta o AG₃ promoveu ganhos de 200,8%, quando comparados ao controle, mas não diferiu do tratamento de sementes em hidrocondicionamento (Figura 4A).

Figura 4 - Médias da quantificação de açúcares solúveis totais (A), aminoácidos totais (B) e prolina livre (C) em plântulas de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) submetidas a atenuadores do estresse salino: hidrocondicionamento, ácido giberélico (AG₃), ácido salicílico (AS) e ácido ascórbico (AASC).



Médias seguidas da mesma letra, maiúscula comparam cultivares e minúsculas comparam combinações de atenuadores e níveis salinidade, não diferem pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Na quantificação de aminoácidos sob estresse salino, a cv. Limoncino acumulou menos, mesmo quando as sementes foram pré-tratadas com atenuadores do estresse salino. Para essa cultivar, somente o AG₃ promoveu resultados superiores (37,7%) ao estresse salino (Figura 4B). Por outro lado, na cv. Genaro de menta, o hidrocondicionamento das sementes favoreceu maior produção de aminoácidos, com ganho de 38,9% em relação ao estresse salino (Figura 4B).

Na quantificação de prolina, as duas cultivares apresentam o mesmo conteúdo em condições ideais. Por outro lado, na cv. Limoncino em todos os tratamentos com salinidade de 6,98 dSm⁻¹ induziu uma redução desse aminoácido, exceto quando o agente atenuante foi o AASC, que manteve os níveis de prolina igual ao controle (Figura 4C). Na cv. Genaro de menta, o nível de salinidade induziu aumento no acúmulo de prolina, no entanto, o AS promoveu maior quantificação, de 63,3%, em comparação ao controle (Figura 4C).

O pré-tratamento das sementes da cv. Limoncino em ácido giberélico e submetidas ao estresse salino promoveu aumento na concentração de açúcares solúveis e de aminoácidos. Coincidentemente, esse tratamento promoveu aumento do comprimento da parte aérea e massa seca da parte aérea, sob estresse salino de 6,98 dSm⁻¹. No entanto, não foi o tratamento que promoveu plântulas maiores. Apesar das giberelinas (GAs) serem uma classe de fitohormônios que regulam diferentes aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas por meio de vias biossintéticas complexas (Shah *et al.*, 2023; Ali e Elozeiri, 2017), o AG₃ frequentemente causa crescimento excessivo do hipocótilo da planta em resposta a sua alta atividade (Wang *et al.*, 2022), como constatado para essa cultivar. Além disso, o AG₃ não promoveu crescimento das raízes, provocando redução na relação raiz/parte aérea.

É consenso que salinidade exerce um efeito prejudicial no crescimento, na fisiologia e nas propriedades bioquímicas das plantas (Assaha *et al.*, 2017; Alharbi, Al-Osaimi e Alghamdi, 2022; Mehta e Vyas, 2023). Levando em conta a fitotoxicidade causada pelo NaCl, aprofundar a compreensão dos mecanismos de tolerância ao sal favorece a escolha de cultivares que apresentem maior capacidade adaptativa a condições desfavoráveis. Principalmente, quando a região apresenta poços com água subterrânea com

valores de CE e sólidos totais dissolvidos (STD) acima dos limites recomendados para culturas vegetais e risco alto de salinização e sodificação dos solos (Daliakopoulos *et al.*, 2016; Amaral, Ferreira e Navoni, 2021).

Mesmo na fase de plântulas, as espécies vegetais podem apresentar tolerância a salinidade por meio de adaptações que os ajudem a sobreviver nessa condição adversa. Dentre as adaptações, o ajuste osmótico pode ser uma estratégia de tolerância. Na presente pesquisa, as cultivares de manjerição apresentam, naturalmente, níveis elevados de aminoácidos em condições ideais de germinação, principalmente a cv. Limoncino.

Os aminoácidos são precursores de uma ampla variedade de produtos naturais vegetais que desempenham papéis cruciais no crescimento e desenvolvimento das plantas, incluindo ácidos orgânicos, osmólitos, fitohormônios e metabólitos secundários que são componentes integrais da parede celular e, portanto, envolvidos na proteção da planta contra estresse abióticos e bióticos. Além disso, os aminoácidos podem ser utilizados como uma fonte energética imediata sob condições adversas (Amir, Galili e Cohen, 2018), como a salinidade.

O que leva a crer que, a redução do aminoácido em condições de salinidade na cv. Limoncino pode ter ocorrido em resposta a catabolização eficientemente no ciclo do ácido tricarboxílico (TCA) para gerar a energia celular necessária para o crescimento das plântulas, particularmente em resposta a estresse salino, em que a planta precisa de mais energia para desenvolver (Galili, Amir e Fernie, 2016) e, por isso, a cv. Limoncino manteve a formação de uma plântula normal.

Ao contrário do que foi observado para a cv. Limoncino, houve um aumento considerável de açúcares solúveis totais e prolina em todos os tratamentos salinos, com e sem atenuadores, exceto para o AASC que acumulou açúcares semelhante ao tratamento controle, o que pode gerar um saldo energético que pode ser utilizado nas fases posteriores de crescimento. Apesar do hidrocondicionamento ter promovido aumento na concentração de açúcares e aminoácidos, não foi esse que promoveu maiores resultados de crescimento.

5. CONCLUSÃO

As cultivares de manjeriço respondem de formas distintas aos níveis de salinidade simulada por NaCl. A cv. Limoncino mantem o processo germinativo e a formação de plântulas normais sob o nível de salinidade de 6,98 dS m⁻¹, independentemente do pré-tratamento das sementes nos atenuadores do estresse salino. Sendo uma alternativa para o cultivo em região que apresentem déficit hídrico, com a presença de íons, demonstrando maior tolerância a condição adversa.

A cv. Genaro de menta, apresenta redução no processo germinativo, mas principalmente a formação de plântulas é afetada quando produzidas sob salinidade de 6,98 dSm⁻¹. O pré-tratamento das sementes em ácidos, ascórbico e salicílico, promove a retomada do crescimento e formação de plântulas normais quando produzidas sob salinidade.

6. REFERENCIAS

ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. **Agronomy**, v. 7, n. 1, p. 1-38, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>

AHMAD, F.; KAMAL, A.; SINGH, A.; ASHFAQUE, F.; ALAMRI, S.; SIDDIQUI, M. H.; KHAN, M. I. R. Seed priming with gibberellic acid induces high salinity tolerance in *Pisum sativum* through antioxidants, secondary metabolites and up-regulation of antiporter genes. **Plant Biology** (Stuttg), v. 1, 113-121, 2021 <https://doi.org/10.1111/plb.13187>

AKRAM, N. A.; SHAFIQ, F.; ASHRAF, M. Ascorbic acid – A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 613, p. 1-17, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00613>

ALI, A. S.; ELOZEIRI, A. A. Metabolic processes during seed germination. *In*: Jimenez-Lopes, J. C. **Advances in Seed Biology**: InTech, 2017. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70653>

AMARAL, K.; FERREIRA, D. M.; NAVONI, J. A. Assessment of brackish groundwater of the semi-arid region of Rio Grande do Norte: quality and impacts on subsistence farming activities. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 3, 2021. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30077>

AMIR, R.; GALILI, G.; COHEN, H. The metabolic roles of free amino acids during seed development. **Plant Science**, v. 275, p. 11-18, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.06.011>

ASSAHA, D.V. M.; UEDA, A.; SANEOKA, H.; AL-YAHYAI, R.; YAISH, M. W. The Role of Na⁺ and K⁺ Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes. **Frontiers in Physiology**, v. 18, n. 8, p. 509, 2017. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00509>

ATTA, K.; MONDAL, S.; GORAI, S.; SINGH, A. P.; KUMARI, A.; GHOSH, T.; ROY, A.; HEMBRAM, S. *et al.* Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 1241736, p. 1-21, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00018060>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Regras para análise de sementes**. Brasília: SDA/ACS. 2025. Disponível em: <https://wikisda.agricultura.gov.br/pt-br/Laborat%C3%B3rios/Metodologia/Sementes/RAS_2024>. Acesso em: 14 de abril de 2025.

CASTRO-CAMBA, R.; SÁNCHEZ, C.; VIDAL, N.; VIELBA, J. M. Interactions of Gibberellins with Phytohormones and Their Role in Stress Responses. **Horticulturae**, v. 8, n. 3, 241, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030241>

CHOI, J.-Y.; JU, Y.-H.; NAKAMICHI, A.; CHO, S.-W.; WOO, S.-H.; SAKAGAMI, J.-I. Effect of Seed Hydropriming on the Elongation of Plumule and Radicle During the Germination Process and Changes in Enzyme Activity Under Water-Deficient Conditions. **Plants**, v. 13, n. 24, 3537, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13243537>

CIRIELLO, M.; FUSCO, G. M.; COLLA, G.; KYRIACOU, M. C.; SABATINO, L.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y.; CARILLO, P. Adaptation of basil to salt stress: Molecular mechanism and physiological regulation. **Plant Stress**, v. 11, 100431, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100431>

COSTA, A. A.; PAIVA, E. P.; TORRES, S. B.; SOUZA NETA, M. L.; PEREIRA, K. T. O.; LEITE, M. S.; SÁ, F. V. S.; BENEDITO, C. P. Osmoprotection in *Salvia hispanica* L. seeds under water stress attenuators. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, e233547, 2022. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.233547>

DALIAKOPOULOS, I. N.; TSANIS, I. K.; KOUTROULIS, A.; KOURGIALAS, N. N.; VAROUCHAKIS, A. E.; KARATZAS, G. P.; RITSEMA, C. J. The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of The Total Environment**, v. 573, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>

DEVIKA, O. S.; SINGH, S.; SARKAR, D.; BARNWAL, P.; SUMAN, J.; RAKSHIT, A. Seed priming: a potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. **Frontiers in Sustainable**

Food Systems, v. 5, 654001, p. 1-11, 2021.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001>

DING, P.; DING, Y. Stories of salicylic acid: a plant defense hormone. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 6, p. 549-565, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.004>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Global map of salt-affected soils**. 2021. Available: <<https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/>>. Accessed: 04 Apr 2025.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
<https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

GALILI, G.; AMIR, R.; FERNIE, A. R. The Regulation of Essential Amino Acid Synthesis and Accumulation in Plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 67, p.153-78, 2016. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112213>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário: produção de manjeriço**. 2017. Available: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/manjericao/br>. Accessed: 23 jan 2025.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **Delimitação do Semiárido Brasileiro**. Ministério da Integração Nacional. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-pdf/delimitacao-do-semiarido-brasileiro-2024.pdf/view>. Acesso em: 04 de fev 2024.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983. 174 p.

MAGUIRE, J.D. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

MARTHANDAN, V.; GEETHA, R.; KUMUTHA, K.; RENGANATHAN, V. G.; KARTHIKEYAN, A.; RAMALINGAM, J. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 21, 8258, 2020.
<https://doi.org/10.3390/ijms21218258>

MELO-SABOGAL, D. V.; CONTRERAS-MEDINA, L. M. Elicitors and Biostimulants to Mitigate Water Stress in Vegetables. **Horticulturae**, v. 10, n. 8, p. 837, 2024. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080837>

MEHTA, D.; VYAS, S. Comparative bio-accumulation of osmoprotectants in saline stress tolerating plants: A review. **Plant Stress**, v. 9, 100177, p. 1-11, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100177>

MISHRA, S.; ROYCHOWDHURY, R.; RAY, S.; HADA, A.; KUMAR, A.; SARKER, U.; AFTAB, T.; DAS, R. Salicylic acid (SA)-mediated plant immunity against biotic stresses: An insight on molecular components and signaling mechanism. **Plant Stress**, v. 11, 100427, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100427>

O'LEARY, N. "Revisão taxonômica de *Ocimum* (Lamiaceae) na Argentina". **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 144, n. 1, p. 74-87, 2016. <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-14-00074.1>

PARVIN, S.; REZA, A.; DAS, S.; MIAH, M. M. U.; KARIM, S. Potential Role and International Trade of Medicinal and Aromatic Plants in the World. **European Journal Of Agriculture And Food Sciences**, v. 5, n. 5, p. 89-99, 2023. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2023.5.5.701>

PEREIRA, K. T. O.; SÁ, F. V. S.; TORRES, S. B.; PAIVA, E. P.; ALVES, T. R. C. Exogenous application of organic acids in maize seedlings under salt stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e250727, 2024. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.250727>

SILVA, L. A. P.; SILVA, C. R.; SOUZA, C. M. P.; BOLFE, É. L.; SOUZA, J. P. S.; LEITE, M. E. Mapping of aridity and its connections with climate classes and climate desertification in future scenarios - Brazilian semi-arid region. **Sociedade & Natureza**, v. 35, e67666, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666x>

SILVA, R. C.; GRZYBOWSKI, C. R. DE S.; PANOBIANCO, M. Vigor de sementes de milho: influência no desenvolvimento de plântulas em condições de estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, 491–499, 2016. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160059>

SHAH, S.H., ISLAM, S., MOHAMMAD, F. *et al.* Gibberellic Acid: A Versatile Regulator of Plant Growth, Development and Stress Responses. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, 7352–7373, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11035-7>

SOUZA, L. VI.; SILVA, T. I.; LOPES, M. F. Q.; LEAL, M. P. S.; BASÍLIO, A. G. S.; MELO FILHO, J. S.; LEAL, Y. H.; DIAS, T. J. Estrés salino e regulador do crescimento vegetal na albahaca: efeitos sobre as plantas e o solo. **DYNA**, v. 88, n. 217, p. 75-83, 2021. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.87633>

SOUZA, J. J. L. L.; CATRO, F. E.; ANDRADE, C. V. P. A.; KER, J. C.; PEREZ FILHO, A. Brazilian semiarid soils formed during the last glacial maximum. **Catena**, v. 223, 106899, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106899>.

SOUZA NETA, M. L.; TORRES, S. B.; PAIVA E. P.; CARVALHO, S. M. C.; LEITE, M. S.; GUIRRA, B. S.; MORAIS, M. B.; ALBUQUERQUE, C. C.; PEREIRA, K. T. O.; PEIXOTO, T. D. C.; SÁ, F. V. S. Osmotic adjustment and antioxidant activity of Cucumber seeds pré-treated with stress attenuators and subjected to drought stress during germination. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 43, p. 1919-1933, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11231-5>

SPARACINO, J., ARGIBAY, D. S., ESPINDOLA, G. Long-term (35 Years) Rainy and Dry Season Characterization in Semiarid Northeastern Brazil. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 377–391, 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-77863630138>

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

TREVIZAN, C. B.; BONACINA, C.; ALVES, A. C. G.; MAGALHÃES, H. M.; SOUZA, S. G. H. Germination and initial growth of basil seedlings subject to saline stress. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72040-72052, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-594>

WANG, B.; YIN, K.; WU, C.; WANG, L.; YIN, L.; LIN, H. Medium optimization for GA4 production by *Gibberella fujikuroi* using response surface methodology. **Fermentation**, v. 8, n. 5, p. 230, 2022. <https://doi.org/10.3390/fermentation8050230>

XIÃO, M.; LI, Z.; ZHU, L.; WANG, J.; ZHANG, B.; ZHENG, F.; ZHAO, B.; ZHANG, H.; WANG, Y.; ZHANG, Z. The multiple roles of ascorbate in the abiotic stress response of plants: antioxidant, cofactor, and regulator. **Frontier of Plant Science**, v. 12, 598173, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.598173>

YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino acid with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 2, p. 209-213, 1955. <https://dx.doi.org/10.1039/an9558000209>

YEMM, E.W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**. v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954. <https://doi.org/10.1042/bj0570508>

ZAMAN, M.; SHAHID, S. A.; HENG, L. **Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques**. Ebook. Switzerland, Springer International Publishing. 164 p