



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

EMANUELE LUCAS MOURA

**DESEMPENHO INICIAL DE CULTIVARES DE MILHO SUBMETIDAS A
ESTRESSES ABIÓTICOS**

MOSSORÓ

2025

EMANUELE LUCAS MOURA

**DESEMPENHO INICIAL DE CULTIVARES DE MILHO SUBMETIDAS A
ESTRESSES ABIÓTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia de sementes

Orientador: Prof. Dr. Salvador Barros Torres

Coorientadores: Prof. Dr. Francisco Vanies da Silva Sá e Prof.^a. Dra. Clarisse Pereira Benedito

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 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. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. 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.

M931d Moura, Emanuele Lucas.

Desempenho inicial de cultivares de milho submetidas a estresses abióticos / Emanuele Lucas Moura. - 2025.

72 f. : il.

Orientador: Salvador Barros Torres.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2025.

1. Zea mays L.. 2. germinação. 3. déficit hídrico. 4. estresse salino. I. Torres, Salvador Barros , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência Bibliotecária:

Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

EMANUELE LUCAS MOURA

**DESEMPENHO INICIAL DE CULTIVARES DE MILHO SUBMETIDAS A
ESTRESSES ABIÓTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia de sementes

Defendida em: 30 / 07 / 2025.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
SALVADOR BARROS TORRES
Data: 15/09/2025 17:39:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Salvador Barros Torres, Prof. Dr. (EMPARN)
Presidente



Documento assinado digitalmente
FRANCISCO VANIES DA SILVA SA
Data: 17/09/2025 10:55:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Francisco Vanies da Silva Sá, Prof. Dr. (UEPB)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
JOSE EDUARDO SANTOS BARBOZA DA SILVA
Data: 24/09/2025 07:28:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Eduardo Santos Barboza da Silva, Prof. Dr. (IF Baiano)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
MOADIR DE SOUSA LEITE
Data: 25/09/2025 10:04:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Moadir de Sousa Leite, Dr. (EMATERCE)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
ALEX ALVARES DA SILVA
Data: 23/09/2025 14:00:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Alex Álvares da Silva, Dr. (UEPB)
Membro Examinador

Aos meus pais, que nunca mediram esforços para me proporcionar uma educação de qualidade. Obrigado pelo apoio e confiança durante todas as fases da minha vida. Amo vocês e sou eternamente grata.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ser minha fonte de força nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Francisco Cleudo e Socorro Lucas, por sempre me apoiarem, acreditarem e vibrarem com as minhas conquistas, o amor e incentivo de vocês tornaram tudo um pouco mais fácil. A pessoa que sou hoje a devo a eles.

Aos meus irmãos, Luciêr, Juciêr, Adriano, Elton, Patrícia e Clarice, por sempre torcerem por mim assim como torço por eles. Aos outros membros da família, por todo o carinho e apoio.

Ao meu orientador, prof. Salvador Barros Torres, pelos ensinamentos recebidos e por todo o apoio durante este projeto. Aos meus coorientadores, prof. Francisco Vanies da Silva Sá e profa. Clarisse Pereira Benedito, pelas contribuições durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pelo conhecimento e experiência adquiridos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) por terem disponibilizado as sementes utilizadas neste trabalho.

Aos amigos que fazem parte do LAS/UFERSA: Pablo Ferreira, Iracema Paiva, Giovanna Dias, Jéssica Christie, Keila Costa, Daise Feitoza, Valeria Nayara, Alejandra Cruz, Talissa Quitério, Yasmim Costa e Eduardo Alves. Obrigada pelo apoio, acolhimento, conversas, companhia e pelas risadas. A amizade de vocês tornou essa trajetória mais leve, mais feliz e, sem dúvida, mais significativa.

Aos funcionários do LAS/UFERSA, Sara Monaliza Costa Carvalho e Francisco César de Góis, pela ajuda durante a execução deste trabalho quando necessária.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem participar deste momento e contribuir para a avaliação e enriquecimento deste trabalho.

Agradecimento final a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram durante essa jornada. Gratidão!

RESUMO

MOURA, Emanuele Lucas. **Desempenho inicial de cultivares de milho submetidas a estresses abióticos**. 2025. 71f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2025.

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal cosmopolita de grande importância econômica pelas diversas formas de utilização, sendo o Brasil o terceiro maior produtor do mundo. Dentre os principais problemas que afetam a produtividade na atividade agrícola estão os estresses abióticos, sendo estes mais prejudiciais nas fases iniciais de desenvolvimento das plântulas. Assim, estudos sobre a adaptabilidade das culturas são necessários para a obtenção de cultivares comerciais tolerantes a esses estresses. Objetivou-se avaliar a tolerância de cultivares de milho submetidas ao déficit hídrico e ao estresse salino durante a germinação e crescimento inicial de plântulas. A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análises de Sementes (LAS) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró/RN, em dois experimentos. O primeiro experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, seguindo o arranjo fatorial 20 x 3, sendo o primeiro fator formado por vinte cultivares de milho (BRS 2022, BRS 4103, BRS Cruzeta, BRS Gorutuba, Capo 22, HTC697, HTC717, HTC795, MC 70, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801599, Sintético 91801600, Sintético 91801601, Sintético PESAGRO-RIO e UFLA-JM 100-POP AXB) e o segundo fator por três concentrações de polietileno glicol (PEG-6000) nos potenciais osmóticos de 0, -0,2 e -0,4 MPa, simulando o déficit hídrico. O segundo experimento foi em delineamento inteiramente casualizado seguindo o arranjo fatorial 20 x 3, sendo o primeiro fator formado pelas mesmas vinte cultivares do primeiro experimento e o segundo por três concentrações de NaCl (0; 100 e 200 mmol/L), compreendendo o estresse salino. As variáveis analisadas nos dois experimentos foram germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento de parte aérea e de raiz, volume radicular, massa fresca de parte aérea e de raiz, massa seca de parte aérea e de raiz e taxa de extravasamento de eletrólitos. O déficit hídrico reduziu a germinação e vigor das plântulas de milho. As cultivares BRS 2022, UFLA JM100 POP AXB, Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, HTC697, BRS Gorutuba, Sintético 91801596, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar foram as mais tolerantes, enquanto as cultivares HTC717, HTC795, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801599 e Sintético 91801600 foram as mais sensíveis ao déficit hídrico na fase de germinação e crescimento inicial. Quanto a salinidade, as cultivares Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, BRS Gorutuba, Sintético 91801592, Sintético 91801599, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar foram consideradas tolerantes, ao passo que as cultivares sensíveis foram HTC717, HTC795, Sintético 91801587, Sintético 91801590 e Sintético 91801601. O estresse salino não afetou a germinação, mas o acúmulo de biomassa e estabilidade das membranas das plântulas de milho foram prejudicadas.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; germinação; déficit hídrico; estresse salino.

ABSTRACT

MOURA, Emanuele Lucas. **Initial performance of maize cultivars subjected to abiotic stresses**. 2025. 71f. Dissertation (Master's in Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2025.

Maize (*Zea mays* L.) is a cosmopolitan cereal of great economic importance due to its multiple uses, with Brazil being the third-largest producer worldwide. Among the main factors affecting agricultural productivity are abiotic stresses, which are particularly harmful during the early stages of seedling development. Therefore, studies on crop adaptability are essential to obtain commercial cultivars tolerant to these stresses. This study aimed to evaluate the tolerance of maize cultivars subjected to water deficit and salt stress during germination and early seedling growth. The research was conducted at the Seed Analysis Laboratory of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró/RN, in two experiments. The first experiment was carried out in a completely randomized design, following a 20×3 factorial scheme, with the first factor consisting of twenty maize cultivars (BRS 2022, BRS 4103, BRS Cruzeta, BRS Gorutuba, Capo 22, HTC697, HTC717, HTC795, MC 70, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801599, Sintético 91801600, Sintético 91801601, Sintético PESAGRO-RIO, and UFLA-JM 100-POP AXB) and the second factor consisting of three concentrations of polyethylene glycol (PEG-6000) at osmotic potentials of 0, -0.2, and -0.4 MPa, simulating water deficit. The second experiment was conducted in a completely randomized design, following the same 20×3 factorial arrangement, with the same twenty cultivars as in the first experiment, and the second factor consisting of three NaCl concentrations (0, 100, and 200 mmol/L), representing salt stress. The variables evaluated in both experiments included germination, first germination count, germination speed index, shoot and root length, root volume, shoot and root fresh mass, shoot and root dry mass, and electrolyte leakage rate. Water deficit reduced germination and seedling vigor in maize. The cultivars BRS 2022, UFLA JM100 POP AXB, Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, HTC697, BRS Gorutuba, Sintético 91801596, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta, and Potiguar were the most tolerant, while the cultivars HTC717, HTC795, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801599, and Sintético 91801600 were the most sensitive to water deficit during the germination and initial growth phase. Regarding salinity, the cultivars Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, BRS Gorutuba, Sintético 91801592, Sintético 91801599, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta, and Potiguar were considered tolerant, whereas HTC717, HTC795, Sintético 91801587, Sintético 91801590, and Sintético 91801601 were identified as sensitive. Salt stress did not affect germination, but the biomass accumulation and membrane stability of maize seedlings were impaired.

Keywords: *Zea mays* L.; germination; water deficit; salt stress.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO

Tabela 1.	Resumo da análise de variância para germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), volume radicular (VR), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e extravasamento eletrólitos (EE) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas ao déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.	31
Tabela 2.	Médias de germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG) e índice de velocidade de germinação (IVG) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas a déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.	32
Tabela 3.	Médias de comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e volume radicular (VR) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas a déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.	35
Tabela 4.	Médias de massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa fresca de raiz (MFR) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas a déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.	38
Tabela 5.	Médias de massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e extravasamento de eletrólitos de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas a déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.	40

CAPÍTULO 2 – DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE MILHO SOB ESTRESSE SALINO

Tabela 1.	Resumo da análise de variância para germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), volume radicular (VR), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e extravasamento de eletrólitos (EE) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas ao estresse salino. Mossoró-RN, 2025.	56
-----------	--	----

Tabela 2.	Médias da germinação (G) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas ao estresse salino. Mossoró-RN, 2025.	57
Tabela 3.	Médias de primeira contagem de germinação (PCG) e índice de velocidade de germinação (IVG) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas a estresse salino. Mossoró-RN, 2025.....	58
Tabela 4.	Médias de comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e volume radicular (VR) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas a estresse salino. Mossoró-RN, 2025.....	60
Tabela 5.	Médias de massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa fresca de raiz (MFR) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas a estresse salino. Mossoró-RN, 2025.	62
Tabela 6.	Médias de massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e extravasamento de eletrólitos (EE) de cultivares de milho (<i>Zea mays</i> L.) submetidas a estresse salino. Mossoró-RN, 2025.....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A cultura do milho	14
2.2	Estresses abióticos	15
2.2.1	Déficit hídrico	16
2.2.2	Estresse salino.....	18
	REFERÊNCIAS	20

CAPÍTULO 1 - DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE MILHO SOB

	DÉFICIT HÍDRICO	25
1	INTRODUÇÃO	26
2	MATERIAL E MÉTODOS	28
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS	44

CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE MILHO SOB

	ESTRESSE SALINO	50
1	INTRODUÇÃO	51
2	MATERIAL E MÉTODOS	53
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4	CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.), família das gramíneas Poaceae (Gramineae), tribo Maydeae, é o cereal mais importante em termos de produção, possuindo alto valor e importância econômica em todo o mundo, não apenas como alimento humano, mas também como ração animal, além disso constitui-se em matéria-prima para uma grande quantidade de produtos (Serna-Saldivar, 2019). Estruturalmente, a planta apresenta raízes primárias, seminais e adventícias, colmo dividido em nós e entrenós, folhas lanceoladas e inflorescências masculina e feminina em locais distintos (Galvão, Borém, Pimentel, 2017).

No cenário agrícola mundial, o milho ocupa posição de destaque, com produção estimada em 1,23 bilhão de toneladas na safra 2023/2024, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2024). O Brasil é tido como o terceiro maior produtor global, alcançando 120 milhões de toneladas na safra 2024/2025, com destaque para as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste, que concentram cerca de 87% da produção nacional (Conab, 2025a). Entretanto, a produtividade nacional enfrenta desafios relacionados a fatores edafoclimáticos, manejo e recursos hídricos, principalmente nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro (Lima et al., 2020).

A produção na região Nordeste do Brasil é, em sua maior parte, empresarial (87%), com duas principais áreas de expansão, o Matopiba (estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) e o Sealba (compreende os municípios do Leste de Sergipe e de Alagoas com o Nordeste baiano) (Coêlho, 2023). O Rio Grande do Norte registrou, na safra de grãos 2024/2025, uma produção de 25,7 mil toneladas de milho e um aumento na produtividade de 17,3%, alcançando 401 kg por hectare (Conab, 2025b)

A produção agrícola é frequentemente impactada por estresse abiótico, provocado por fatores ambientais que afetam o crescimento, desenvolvimento, rendimento e qualidade das plantas de forma negativa (Yildiz et al., 2020). Esses estresses incluem variações de luminosidade, temperatura, disponibilidade hídrica e salinidade, que afetam processos moleculares, fisiológicos e bioquímicos das plantas (Taiz et al., 2017; Warsi, Howladar, Alsharif, 2021). Devido às mudanças climáticas e à intensificação das atividades humanas, prevê-se que esses fatores representem desafios ainda maiores para a agricultura no futuro (Naing, Kim, 2021).

Entre os principais estresses abióticos, o déficit hídrico e a salinidade se destacam pela intensidade de seus efeitos nas fases iniciais do desenvolvimento vegetal. Durante a germinação, a escassez de água pode inibir processos metabólicos essenciais, como a

mobilização de reservas e a emergência da radícula, além de provocar danos oxidativos em nível celular (Mustamu et al., 2023; Gonçalves et al., 2024). Por outro lado, a salinidade do solo e da água prejudica a assimilação de CO₂, altera o potencial osmótico e gera espécies reativas de oxigênio (EROs), que comprometem a integridade celular e reduzem a capacidade fotossintética das plantas (Taiz et al., 2017; Shan et al., 2024).

Diante desses desafios, estratégias como o desenvolvimento de cultivares adaptadas a condições adversas e o entendimento dos mecanismos de tolerância têm se mostrado essenciais para a manutenção da produtividade agrícola. Nesse sentido, pesquisas que abordam respostas das sementes e plântulas a estresses abióticos fornecem subsídios para a seleção de genótipos mais resistentes, contribuindo para o avanço de programas de melhoramento genético e para a sustentabilidade da produção em regiões vulneráveis (Amabile, Vilela, Peixoto, 2018; Mustamu et al., 2023).

A hipótese dessa pesquisa é que a variabilidade genética entre cultivares de milho influencia a capacidade de adaptação inicial frente a estresses abióticos, permitindo identificar materiais de maiores potenciais. Dessa forma, objetivou-se avaliar a tolerância de cultivares de milho submetidas ao déficit hídrico e ao estresse salino durante o processo de germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta C4, monocotiledônea, família Poaceae (gramíneas), que foi domesticada por povos indígenas da Mesoamérica nos tempos pré-históricos (Magalhães, Durães, Paiva, 1995; Chaudhary et al., 2014). Trata-se de um cereal cosmopolita de grande importância econômica, possuindo diversas formas de utilização, quer seja na alimentação animal (grãos e forragem), na alimentação humana ou na indústria como matéria-prima para produtos industrializados ou processados (Pereira Filho, 2015).

A planta de milho apresenta raízes primárias, seminais e adventícias, presentes principalmente na camada superficial do solo. O colmo é dividido em nós e entrenós, e pode ocorrer perfilhamento em algumas situações. As folhas são alternadas, lanceoladas, lisas e com cerosidade, além de apresentar inflorescência masculina (pendão) e inflorescência feminina (espiga) em locais diferentes (Galvão, Borém, Pimentel, 2017). Assim, por ser uma planta altamente alógama, apresenta alta taxa de polinização cruzada, o que aumenta a variabilidade genética e acelera o processo de adaptação das populações (Hussain et al., 2021).

Segundo informações do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a produção mundial do milho deve atingir 1,23 bilhão de toneladas, na campanha agrícola 2023/2024. Dentre os três principais produtores, o Brasil ocupa a terceira posição com produção de 124 milhões de toneladas, ficando atrás dos Estados Unidos, primeiro colocado, e China, segunda colocada no ranking mundial (USDA, 2024).

Em relação às exportações do Brasil, a safra 2023/2024 registrou 54,6 milhões de toneladas de milho entre fevereiro de 2023 e janeiro de 2024, sendo 17,2% acima do volume comercializado no mesmo período da safra anterior. Na safra de 2024/2025, obteve-se, até o momento, o acumulado de 2,14 milhões de toneladas exportadas, valor 59,41% menor do que o verificado no mesmo período em 2023 (Conab, 2025a).

A produção nacional de milho ocorre em todas as 27 Unidades Federativas, concentrando-se mais de 87% nas regiões Centro-Oeste (57%), Sul (19%) e Sudeste (11,6%). O maior produtor nacional é o estado do Mato Grosso, responsável por 35% da produção do Brasil, com área cultivada de aproximadamente 7,4 milhões de hectares; em sequência estão Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais (IBGE, 2023).

A região Nordeste do Brasil, mesmo não sendo uma das mais produtivas, deteve em 2023 mais de três milhões de hectares plantados com produção de 9,8 milhões de toneladas,

sendo os estados da Bahia, Piauí e Maranhão os principais produtores (IBGE, 2023). A produção dessa região é na maior parte empresarial (87%), com duas principais áreas de expansão: o Matopiba (estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), de exploração mais antiga, e o Sealba (compreende os municípios do Leste de Sergipe e de Alagoas, além do Nordeste baiano), mais recente (Coêlho, 2023).

O Rio Grande do Norte registrou, na safra de grãos 2024/2025, uma produção de 25,7 mil toneladas de milho, o que representa um aumento de 11,3% em relação à safra anterior, segundo o 11º Levantamento da Safra de Grãos da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (2025b). O levantamento também indica que a produtividade cresceu 17,3%, alcançando 401 kg por hectare. Apesar disso, houve redução da área cultivada, que passou de 67,4 mil hectares em 2023/2024 para 64,1 mil hectares em 2024/2025.

As diferenças entre os rendimentos agrícolas nas regiões e estados estão relacionadas a diversos fatores como o manejo empregado na cultura, a tecnificação no processo de produção, questões econômicas e, em especial, aos fatores edafoclimáticos do local. O semiárido nordestino é bastante afetado pelas irregularidades de chuva, sendo necessário a utilização de recursos hídricos superficiais e de água subterrânea (Nunes et al., 2022). Além disso, a alta evapotranspiração nos períodos de seca gera intenso uso dessa água provocando o aumento da concentração de sais em poços subterrâneos (Lima et al., 2020).

Uma das formas de elevar a produtividade é a utilização de sementes adaptadas para o clima da região. Assim, para minimizar os efeitos causados pelo déficit hídrico e o estresse salino, e auxiliar no manejo correto da cultura do milho, é necessário compreender os efeitos nos processos fisiológicos e os mecanismos de resistência das cultivares (Kopecká et al., 2023).

2.2 Estresses abióticos

O estresse é caracterizado como uma condição de perturbação do desenvolvimento da planta, limitando seu potencial genético, e pode ter natureza biótica e/ou abiótica (Ranjith, Rao, 2021). Os fatores abióticos representam os ambientais e compreendem, em sua maioria, luminosidade (intensidade, qualidade e duração), água (disponibilidade no solo e umidade), CO₂, O₂, teor e disponibilidade de nutrientes no solo, temperatura e toxinas (metais pesados e salinidade) (Taiz et al., 2017). Na natureza, as plantas enfrentam constantemente diferentes formas de estresse, e as condições ideais de crescimento para qualquer planta só podem ser alcançada em ambiente controlado (Zhang et al., 2023).

Devido às contínuas alterações climáticas globais e às alterações no meio ambiente provocadas pelo homem, há previsão de que os estresses abióticos se tornem problemas cada vez maiores no futuro da atividade agrícola (Naing, Kim, 2021). Atualmente, eles são as principais causas da redução da produtividade da maioria das culturas agrícolas, pois, sob sua influência, as plantas mudam seu ajuste molecular e fisiológico e tentam lidar com os distúrbios ocorridos nos eventos moleculares, fisiológicos, bioquímicos e morfológicos (Warsi, Howladar, Alsharif, 2021).

O desbalanço dos fatores abióticos causa dois tipos de efeitos: os primários, como redução do potencial hídrico e desidratação celular, e os secundários, responsáveis pela redução da atividade metabólica, citotoxicidade de íons e produção das espécies reativas de oxigênio, iniciação e aceleração da destruição da integridade celular, podendo levar, em última análise, à morte celular (Dias, 2018; Junaid, Gokce, 2024). Além disso, as implicações do estresse diferem durante o ciclo fenológico das culturas, de modo que os efeitos nas sementes e plântulas não são os mesmos que os verificados na planta formada (Azeredo et al., 2016).

A transição entre a germinação e o estabelecimento da planta, independentemente da semente, é crucial para a sobrevivência e desenvolvimento desta, já que são altamente afetadas pelos fatores bióticos e abióticos durante essa etapa (Shen et al., 2024). As sementes no seu estado seco e quiescente podem ser bastante tolerantes aos fatores de estresses que seriam letais para uma planta adulta, como temperaturas extremas, por outro lado, são altamente afetadas pelos estresses durante a germinação (Kranner et al., 2010).

Levando em consideração que as sementes desempenham papel fundamental no potencial produtivo das lavouras, os estudos sobre a adaptabilidade e estabilidade de comportamento das culturas fazem-se necessário para obtenção de materiais comerciais (Amabile, Vilela, Peixoto, 2018; Dias, 2018).

2.2.1 Déficit hídrico

O processo germinativo das sementes abrange vários eventos, que incluem a embebição da semente, mobilização de reservas alimentares, reativação do metabolismo e, eventualmente, emergência da radícula (Jhanji et al., 2024). A partir da absorção da água pelas sementes, ocorrem as mudanças que desencadeiam os eventos celulares e metabólicos (Gonçalves et al., 2024). Dessa forma, a redução da disponibilidade de água nesse momento pode ser fatal para o desenvolvimento adequado da planta.

O déficit hídrico provoca a desidratação celular nas plantas, afetando diversos processos fisiológicos (Taiz et al., 2017). Entre os efeitos observados, destacam-se: redução da pressão de turgor, fechamento estomático em decorrência do acúmulo de ácido abscísico, citotoxicidade causada pela elevada concentração de íons nas células, diminuição das trocas gasosas e da fotossíntese, além da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), resultando, conseqüentemente, na inibição do crescimento vegetal (Ahluwalia, Singh, Bhatia, 2021).

Em plântulas, a redução do crescimento e da biomassa são os sintomas visíveis da deficiência hídrica. Avaliando o efeito de níveis de estresse hídrico imposto pelo polietilenoglicol 6000 (PEG-6000) em 16 acessos de milho, Mustamu et al. (2023) constataram diminuição na velocidade e porcentagem de germinação, no índice de vigor, no comprimento da raiz e da parte aérea, na proporção da parte aérea e no peso fresco e seco com o aumento dos níveis de deficiência hídrica. Badr et al. (2020) também verificaram retardamento significativo na germinação e crescimento inicial em acessos de milho sob estresse osmótico, além de grande quantidade de plântulas anormais.

Em nível bioquímico, a produção excessiva de EROs é uma das principais respostas da planta a qualquer estresse abiótico. Quando o nível de EROs excede os mecanismos de defesa, diz-se que a célula está em estado de "estresse oxidativo", causando danos a biomoléculas como lipídios, proteínas e DNA (Sharma et al., 2012), podendo ativar uma resposta de morte celular programada nas células (Mansoor et al., 2022). A quantificação de morte celular programada devido a elicitores bióticos ou abióticos é comumente testada medindo o vazamento de íons da célula danificada (Jambunathan, 2010).

Em pesquisa conduzida por Ahamad et al. (2021) com sementes de híbrido de milho sob déficit hídrico e o efeito benéfico da aplicação de melatonina, verificou-se efeito inibitório significativo no crescimento das plântulas, redução na troca gasosa fotossintética e alteração nos parâmetros estomáticos e estruturais. Os mesmos autores mencionaram que os resultados apontaram modificação bioquímica das plântulas de milho em condições de déficit hídrico, com o intuito de aliviar os danos oxidativos. A limitação hídrica prejudica o transporte de nutrientes por fluxo de massa, afetando diretamente processos metabólicos essenciais, como a fotossíntese e a síntese de carboidratos (Laishram et al., 2024).

Em campo, a restrição hídrica não ocorre de forma isolada, pois as plantas também estão expostas a uma ampla gama de fatores, incluindo altos níveis de irradiação e temperatura e baixa umidade, agravando os efeitos na planta (Gamalero; Glick, 2022). Os mecanismos de manutenção do desempenho fisiológico sob déficit hídrico são normalmente

definidos sob os termos gerais de resistência à seca ou eficiência no uso da água (WUE) (Ferguson, 2019). O mesmo autor menciona que um dos sintomas mais comuns da redução da disponibilidade de água é o alongamento da raiz primária, aumentando a proporção raiz: parte aérea. Outra resposta é o acúmulo de solutos, como cátions inorgânicos, ácidos orgânicos, carboidratos e aminoácidos livres, nas células para manutenção do turgor (Basu et al., 2016).

Pesquisas acerca do estresse hídrico podem ser utilizadas para selecionar cultivares para áreas propensas à seca, auxiliar na conservação e informar aos programas de melhoramento com o objetivo de desenvolver novos materiais resistentes (Mustamu et al., 2023).

2.2.2 Estresse salino

A salinidade do solo e da água é um fator que afeta a produção agrícola e a ecologia, ocasionando efeitos negativos às plantas por meio do estresse osmótico, oxidativo e da toxicidade iônica (Zhang et al., 2023). Os efeitos ocorrem em duas fases: a resposta rápida à elevada pressão osmótica gerando diminuição no crescimento e na expansão foliar, e resposta mais lenta causada pela acumulação de Na^+ (e Cl^-) nas folhas, levando à inibição da fotossíntese e dos processos biossintéticos (Taiz et al., 2017).

O milho é considerado um cereal moderadamente sensível, tolerando salinidade limiar da água de $1,1 \text{ dS m}^{-1}$ (Ayers; Westcor, 1999). As pesquisas têm testado altas concentrações de cloreto de sódio (NaCl) para avaliar a tolerância de diferentes genótipos e cultivares da cultura ao estresse salino, e constataam redução significativa nas características morfofisiológicas a partir de 90 mM de NaCl (Tonel et al., 2013; Barbieri et al., 2014; Catão et al., 2020; Pereira et al, 2021; Khalid et al., 2023).

O estresse salino altera o potencial osmótico, impede a assimilação de CO_2 , enfraquece a maquinaria fotossintética e modifica a relação K^+/Na^+ (Islam et al., 2022). Além disso, causa danos oxidativos por meio da geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) e danos à membrana devido à peroxidação lipídica (Shan et al., 2024). Na fase germinativa, esses efeitos são mais sentidos, com ocorrência de redução no crescimento da radícula e da plúmula, influenciando o estabelecimento, crescimento e rendimento da planta (Guo et al., 2024).

Esses efeitos fisiológicos se refletem diretamente no desempenho germinativo do milho, como observado por Shen et al. (2024), em cuja pesquisa a solução salina de 150 mM de cloreto de sódio reduziu em mais de 30% a germinação das sementes em comparação ao controle e proporcionou encurtamento dos hipocótilos e danos nas pontas das raízes.

Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira et al. (2023) utilizando água salina a 250 mM de NaCl, que reduziu a germinação, o crescimento e o acúmulo de massa seca, além de afetar a síntese de aminoácidos nas duas cultivares de milho.

A salinidade afeta a germinação das sementes principalmente por reduzir o potencial osmótico da solução, retardar a absorção de água pelas sementes, causar toxicidade de íons ao embrião e alterar a síntese de proteínas (Farooq et al., 2015). Para ocorrer a germinação, é necessário quebrar uma grande quantidade de amido com o objetivo de fornecimento de energia para síntese do material. Esse estresse inibe a atividade da α -amilase e diminui o teor de açúcar solúvel nas sementes (Li et al., 2023).

Para reduzir os danos causados pela salinidade, as plantas desenvolvem mecanismos e respostas adaptativas. Há dois processos de regulação fisiológica: o ajuste osmótico, pelo qual as plantas mantêm sua capacidade de absorver água, aumentando a concentração de solutos orgânicos e inorgânicos em suas células (Hao et al., 2021); e a eliminação de EROs, pela ativação de seu sistema antioxidante enzimático, formado por superóxido dismutase, catalase, enzimas do ciclo ascorbato-glutationa e peroxidases (Bokolia, Kumar, Singh, 2023), bem como do sistema não enzimático, como ácido ascórbico-glutationa, carotenoides, polifenóis, alguns alcalóides e flavonoides (Bose, Rodrigo-Moreno, Shabala, 2014).

A resposta de plântulas estressadas dependerá da concentração e dos genótipos (Gelaw e Sanan-Mishra, 2024). Dessa forma, compreender os mecanismos morfológicos envolvidos na tolerância em diferentes materiais é importante para fornecer informações para a produção agrícola atual.

REFERÊNCIAS

- AHLUWALIA, O.; SINGH, P. C.; BHATIA, R. A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 5, p. 100032, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100032>
- AHMAD, S. et al. Ameliorative effect of melatonin improves drought tolerance by regulating growth, photosynthetic traits and leaf ultrastructure of maize seedlings. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 1, p. 368, 2021. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03160-w>
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília, DF: Proimpress; Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1106825> Acesso em: 18 abril 2024.
- AYERS, R. S. WESTCOT. D. W. **A qualidade de água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, p. 1-53, 1999.
- AZEREDO, G. A.; PAULA, R. C.; VALERI, S. V. Germinação de sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth. sob estresse hídrico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 193-202, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509821112>
- BADR, A. et al. Screening for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) germplasm using germination and seedling traits under simulated drought conditions. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 565, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9050565>
- BARBIERI, A. P. P. et al. Tratamento de sementes de milho sobre o desempenho de plântulas em condições de estresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 305-311, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.ao1381>
- BASU, S. et al. Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, v. 5, 2016. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7678.1>
- BOKOLIA, M.; KUMAR, A.; SINGH, B. Plant tolerance to salinity stress: Regulating transcription factors and their functional role in the cellular transcriptional network. **Gene Reports**, v. 34, p. 101873, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2023.101873>
- BOSE, J.; RODRIGO-MORENO, A.; SHABALA, S. ROS homeostasis in halophytes in the context of salinity stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 5, p. 1241-1257, 2014. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert430>
- CATÃO, H. C. R. M. et al. Antioxidant activity and physiological performance of popcorn seed after saline stress and analysis of seedling images. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e005020, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044005020>
- CHAUDHARY, D. P. et al. (Ed.). **Maize: nutrition dynamics and novel uses**. New Delhi: Springer India, 2014. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-1623-0>
- COELHO, J. D. **Agropecuária: Milho Produção e Mercados**. Fortaleza: BNB, ano 8, n.291, jul. 2023. (Caderno Setorial Etene). Disponível em: <s1dspp01.dmz.bnb:8443/s482-dspace/handle/123456789/1788> Acesso em: 20 abril 2024

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira – grãos:** quarto levantamento, janeiro 2025 – safra 2024/2025.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2025a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 29 janeiro 2025.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira – grãos:** decimo primeiro levantamento, agosto 2025 – safra 2024/2025.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2025b. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/11o-levantamento-safra-2024-25/11o-levantamento-safra-2024-25>. Acesso em: 25 agosto 2025.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Milho - Conjuntura Semanal - 01/04/2024.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-de-conjunturas-de-milho>. Acesso em: 16 abril 2024.

DIAS, J. P. T. **Ecofisiologia de culturas agrícolas.** 1. ed. Belo Horizonte - MG: Editora UEMG, v. 1, 169p, 2018.

FAROOQ, M. et al. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 461-481, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0287-0>

FERGUSON, J. N. Climate change and abiotic stress mechanisms in plants. **Emerging Topics in Life Sciences**, v. 3, n. 2, p. 165-181, 2019. <https://doi.org/10.1042/ETLS20180105>

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. (Ed.). **Milho: do plantio à colheita.** Editora UFV, 2017.

GAMALERO, E.; GLICK, B. R. Recent advances in bacterial amelioration of plant drought and salt stress. **Biology**, v. 11, n. 3, p. 437, 2022. <https://doi.org/10.3390/biology11030437>

GELAW, T. A.; SANAN-MISHRA, N. Molecular priming with H₂O₂ and proline triggers antioxidant enzyme signals in maize seedlings during drought stress. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, v. 1868, n. 7, p. 130633, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2024.130633>

GONÇALVES, J. P. et al. Metabolic control of seed germination in legumes. **Journal of Plant Physiology**, v. 295, p. 154206, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2024.154206>

GUO, L. et al. Integrated physiological, biochemical and transcriptomic analyses reveal the mechanism of salt tolerance induced by a halotolerant *Serratia* sp. NTN6 in maize. **Environmental and Experimental Botany**, v. 221, p. 105724, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105724>

HAO, S. et al. A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance. **Horticulturae**, v. 7, n. 6, p. 132, 2021. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7060132>

HUSSAIN, A. et al. A comprehensive review on breeding technologies and selection methods of self-pollinated and cross-pollinated crops. **Asian Journal of Biotechnology and Genetic Engineering**, v. 4, n. 3, p. 35-47, 2021.

- IBGE. **Produção Agrícola Municipal - PAM**| IBGE. 2023.Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados> Acesso em: 16 fevereiro 2025.
- ISLAM, A. T. M. T. et al. Effect of salicylic acid seed priming on morpho-physiological responses and yield of baby corn under salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 304, p. 111304, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111304>
- JAMBUNATHAN, N. Determination and detection of reactive oxygen species (ROS), lipid peroxidation, and electrolyte leakage in plants. **Plant stress tolerance: methods and protocols**, p. 291-297, 2010. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-702-0_18
- JHANJI, S. et al. Exploring fine tuning between phytohormones and ROS signaling cascade in regulation of seed dormancy, germination and seedling development. **Plant Physiology and Biochemistry**, p. 108352, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108352>
- JUNAID, M. D.; GOKCE, A. F. Global agricultural losses and their causes. **Bulletin of Biological and Allied Sciences Research**, v. 2024, n. 1, p. 66-66, 2024. <https://doi.org/10.54112/bbasr.v2024i1.66>
- KHALID, N. et al. Combination effect of temperature and salinity stress on germination of different maize (*Zea mays* L.) varieties. **Agriculture**, v. 13, n. 10, p. 1932, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101932>
- KOPECKÁ, R. et al. Abiotic stress in crop production. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 7, p. 6603, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms24076603>
- KRANNER, I. et al. What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. **New Phytologist**, v. 188, n. 3, p. 655-673, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03461.x>
- LAISHRAM, R. et al. Effect on morphology, physiology, and biochemistry of plants under different stresses. In: **Molecular Dynamics of Plant Stress and its Management**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 159-192. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1699-9_7
- LI, H. et al. Exogenous ethylene promotes the germination of cotton seeds under salt stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, n. 6, p. 3923-3933, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10859-z>
- LIMA, B. R. de et al. Uso e qualidade de água subterrânea utilizada por agricultores familiares no Território Sertão Produtivo, Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 16, p. 679-689, 2020. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071615](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071615)
- MAGALHÃES, P. C., DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, (Circular Técnica, n.20), 1995, 27p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/475778> Acesso em: 16 abril 2024.
- MANSOOR, S. et al. Reactive oxygen species in plants: from source to sink. **Antioxidants**, v. 11, n. 2, p. 225, 2022. <https://doi.org/10.3390/antiox11020225>

- MUSTAMU, N. E. et al. Drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) in local maize at the early seedling stage. **Heliyon**, v. 9, n. 9, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20209>
- NAING, A. H.; KIM, C. K. Abiotic stress induced anthocyanins in plants: Their role in tolerance to abiotic stresses. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 3, p. 1711-1723, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13373>
- NUNES, K. G. et al. Groundwater resources for agricultural purposes in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 915-923, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p915-923>
- PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 9. ed. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486917> Acesso em: 15 abril 2024.
- PEREIRA, K. T. O. et al. Discontinuous hydration cycles with elicitors improve germination, growth, osmoprotectant, and salt stress tolerance in *Zea mays* L. **Agriculture**, v. 13, n. 5, p. 964, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050964>
- PEREIRA, K. T. O. et al. Exogenous application of organic acids in maize seedlings under salt stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e250727, 2021. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.250727>
- RANJITH, P.; RAO, M. S. Breeding for drought resistance. In: **Plant breeding-current and future views**. IntechOpen, 2021. doi: 10.5772/intechopen.97276
- SERNA-SALDIVAR, S. O. **Corn: chemistry and technology**. 3rd ed. AACC International Press: Oxford, UK, 2019.
- SHAN, L. et al. Effects of salicylic acid on growth, physiology, and gene expression in rice seedlings under salt and drought stress. **Plant Stress**, p. 100413, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100413>
- SHARMA, P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 12, n. 1, p. 1-26, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/217037>
- SHEN, J. et al. Acetylcholine alleviates salt stress in *Zea mays* L. by promoting seed germination and regulating phytohormone level and antioxidant capacity. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 43, n. 1, p. 341-352, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11089-7>
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 6ª ed., 2017.
- TONEL, F. R. et al. Salicylic acid: physiological and biochemical changes in seeds and maize seedlings subjected to salt stress. **Journal of Seed Science**, v. 35, p. 457-465, 2013.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>. Acesso em: 16 abril 2024.

WARSI, M. K.; HOWLADAR, S. M.; ALSHARIF, M. A. Regulon: An overview of plant abiotic stress transcriptional regulatory system and role in transgenic plants. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e245379, 2021. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.245379>

YILDIZ, M., et al. Plant Responses to Salt Stress. In: **Plant Breeding - Current and Future Views**, IntechOpen, p. 143-160, 2021. doi:10.5772/intechopen.93920.

ZHANG, Y. et al. Plants' response to abiotic stress: Mechanisms and strategies. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 13, p. 10915, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms241310915>

CAPÍTULO 1

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal de grande importância econômica, e o Brasil ocupa a terceira posição entre os maiores produtores do mundo. Dentre os principais problemas que afetam a sua produtividade, podemos citar o estresse por seca, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a tolerância de cultivares de milho submetidas a condições de déficit hídrico durante a germinação e a fase inicial de crescimento da plântula. A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análises de Sementes (LAS) pertencente ao Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró/RN. O delineamento foi inteiramente casualizado, seguindo o arranjo fatorial 20 x 3, sendo o primeiro fator formado por vinte cultivares de milho (BRS 2022, UFLA-JM 100-POP AXB, Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, HTC697, HTC717, HTC795, BRS 4103, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801592, BRS Gorutuba, Sintético 91801596, Sintético 91801599, Sintético 91801600, Sintético 91801601, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar) e o segundo por três concentrações de polietileno glicol (PEG-6000) nos potenciais hídricos de 0,0, -0,2 e -0,4 MPa, representando o déficit hídrico. As variáveis analisadas foram: germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea e da raiz primária, volume radicular, massa fresca da parte aérea e da raiz, massa seca da parte aérea e da raiz e taxa de extravasamento de eletrólitos. O déficit hídrico reduziu a germinação, o vigor e as biomassas fresca e seca das cultivares de milho. As cultivares BRS 2022, UFLA JM100 POP AXB, Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, HTC697, BRS Gorutuba, Sintético 91801596, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar foram as mais tolerantes, enquanto que as cultivares HTC717, HTC795, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801599 e Sintético 91801600 foram as mais sensíveis ao déficit hídrico durante a germinação e a fase inicial de desenvolvimento da plântula.

Palavras-chaves: *Zea mays* L.; germinação; plântulas; escassez hídrica.

1 INTRODUÇÃO

O milho, da família Poaceae (Gramineae), é uma planta C4 totalmente domesticada e uma das espécies alimentícias mais produtivas, destacando-se pela elevada atividade fotossintética e pelo maior potencial para produção de carboidratos por unidade de área por dia (Serna-Saldivar, 2019). A produção mundial de milho, na campanha 2024/2025, está estimada em 1,23 bilhão de toneladas, com o Brasil ocupando a terceira posição no ranking global, com 124 milhões de toneladas (USDA, 2024), concentrada principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste (IBGE, 2023).

Diversos fatores influenciam a capacidade produtiva de uma cultura, dentre eles estão os estresses abióticos. Estes estresses são as principais causas da redução da produtividade da maioria das culturas agrícolas, pois, sob sua influência, as plantas mudam seu ajuste molecular e fisiológico e tentam lidar com os distúrbios ocorridos (Warsi, Howladar, Alsharif, 2021). Dentre os estresses abióticos, a escassez hídrica é um dos principais fatores que impactam negativamente a germinação e o desenvolvimento das plântulas de milho em campo, tornando a identificação de variedades tolerantes e o estudo dos mecanismos dessa tolerância de grande relevância para a produção da cultura (Zeng et al., 2019).

O déficit hídrico causa desidratação celular em plantas, comprometendo diversos processos fisiológicos. Entre os efeitos constatados estão: a redução da pressão de turgor, o fechamento estomático induzido pelo acúmulo de ácido abscísico, a citotoxicidade resultante da alta concentração de íons celulares, a diminuição das trocas gasosas e da fotossíntese, o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e, consequentemente, a inibição do crescimento (Taiz et al., 2017; Ahluwalia, Singh, Bhatia, 2021).

As reduções de crescimento e biomassa em plântulas são os sintomas visíveis da deficiência hídrica. Em estudos realizados na cultura do milho, foi possível verificar a redução na germinação, no comprimento da raiz e da parte aérea, e no peso fresco e seco (Badr et al., 2020; Mustamu et al., 2023). Além disso, constatou-se também a limitação na troca gasosa fotossintética, alterações nos componentes estomáticos e estruturais, e aumento nos teores de açúcares e enzimas, quando submetidas à escassez de água (Ahamad et al. 2021).

Assim, o estudo da tolerância de cultivares ao estresse hídrico é fundamental para compreender como esta condição pode afetar o metabolismo e a fisiologia individualmente. Plântulas de milho tolerantes à seca devem apresentar crescimento rápido, elevada eficiência no uso da água para produção de biomassa e capacidade de desenvolver raízes que

possibilitem a absorção de água em condições de baixo potencial hídrico no solo ou em maiores profundidades (Hernández et al., 2021).

O desenvolvimento de cultivares de milho melhorados é vital não apenas para atender às demandas nutricionais de uma população global crescente, mas também para enfrentar os desafios relacionados às mudanças climáticas e à segurança alimentar (Hosseini et al., 2025). Diante disso, objetivou-se verificar a tolerância de cultivares de milho submetidas a condições de estresse hídrico durante a germinação e o desenvolvimento inicial de plântulas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análises de Sementes (LAS), pertencente ao Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró/RN, Brasil.

As sementes de cultivares de milho BRS 2022, BRS 4103, BRS Cruzeta, BRS Gorutuba, Capo 22, HTC697, HTC717, HTC795, MC 70, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801599, Sintético 91801600, Sintético 91801601, Sintético PESAGRO-RIO e UFLA-JM 100-POP AXB foram cedidas pelas Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Após o recebimento, as sementes foram armazenadas em ambiente controlado, com temperatura de 16 ± 2 °C e umidade relativa do ar em torno de 50%.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, seguindo o arranjo fatorial 20 x 3, com quatro repetições de 50 sementes. O primeiro fator foi constituído pelas vinte cultivares de milho e o segundo por três concentrações de polietilenoglicol (PEG-6000) nos potenciais osmóticos de 0,0, -0,2 e -0,4 MPa, com base nas orientações propostas por Villela, Doni Filho e Siqueira (1991), simulando o estresse hídrico. Considerou-se o nível zero de concentração como testemunha, utilizando-se apenas água destilada para hidratação do substrato.

Antes da instalação do experimento, determinou-se o teor de água das sementes pelo método da estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 horas, utilizando duas repetições (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida).

Os testes de germinação, simulando as condições de déficit hídrico, foram realizados em substrato de papel toalha, hidratado com volume de solução equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca (Brasil, 2009). Para cada rolo confeccionado, utilizou-se três folhas de papel toalha. Os rolos foram acondicionados em sacos de plástico transparente e alocados na câmara de germinação, com temperatura constante de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 8 horas.

As avaliações foram realizadas diariamente, por meio de contagem do número de sementes germinadas até o sétimo dia após a semeadura (Brasil, 2009), sendo consideradas germinadas as sementes que apresentaram protrusão radicular a partir de 1 cm. As variáveis analisadas foram as seguintes:

a) Germinação: correspondente à porcentagem de sementes germinadas aos sete dias após a semeadura (Brasil, 2009).

b) Primeira contagem de germinação: realizado de forma conjunta com o teste de germinação, com avaliação das sementes germinadas no quarto dia após a implantação do experimento (Brasil, 2009), e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

c) Índice de velocidade de germinação (IVG): realizado juntamente com o teste de germinação, com contagens diárias do número de sementes germinadas até o sétimo dia após a instalação do teste. De posse desses dados, determinou-se o IVG de acordo com a equação proposta por Maguire (1962): $IVG = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots (Gn/Nn)$, em que: IVG = índice de velocidade de germinação; G1 = número de plântulas normais germinadas no primeiro dia; N1 = número de dias da semeadura.

d) Comprimento de parte aérea e de raiz: após a finalização do teste de germinação, com auxílio de uma régua graduada em centímetros, mediu-se desde a base do colo ao ápice da plântula para o comprimento da parte aérea, e da base do colo à extremidade da raiz para o comprimento da raiz primária das plântulas. Foram utilizadas cinco plântulas normais escolhidas de forma aleatória, e os resultados foram expressos em centímetros (cm).

e) Volume radicular: determinado pelo deslocamento de água em proveta graduada. Após a lavagem, as raízes de cinco plântulas foram colocadas em uma proveta contendo um volume conhecido de água (10 mL). Após a completa imersão das raízes, registrou-se o novo nível de água na proveta. O volume ocupado pelas raízes foi calculado pela diferença entre o volume final e o volume inicial, sendo expresso em mililitros (mL), que correspondem diretamente ao deslocamento de água provocado pela amostra.

f) Massa fresca de parte aérea e de raiz: realizada após a medição das plântulas, as quais foram separadas a parte aérea da raiz com o auxílio de uma tesoura, e foram pesadas em balança de precisão (0,001g). Foram utilizadas cinco plântulas normais escolhidas de forma aleatória, e os resultados foram expressos em gramas (g).

g) Massa seca da parte aérea e de raiz: realizada após medição da massa fresca da parte aérea e da raiz, as partes foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e postas para secar em estufa com circulação de ar forçado, regulada a 65 °C, durante 72 h, sendo posteriormente pesadas em balança de precisão (0,001g).

h) Taxa de extravasamento de eletrólitos: para sua determinação, a parte aérea de cinco plântulas de cada tratamento foram separadas, pesadas e submersas em 15 mL de água destilada, em tubos de ensaio, por período de 2 horas à temperatura ambiente. Após esse período, mediu-se a condutividade livre (CL: $\mu\text{S}/\text{cm}$) utilizando o condutivímetro digital TEC-4MP. Posteriormente, esses tubos foram colocados em banho-maria por 90 minutos sob

temperatura de 90 °C e, após o resfriamento até temperatura ambiente, mediu-se a condutividade total (CT: $\mu\text{S}/\text{cm}$). Os valores de condutividade foram corrigidos pela relação com o peso da amostra e depois foi calculada a taxa utilizando a fórmula $(\%) = \text{CL}/\text{CT} \times 100$, de acordo com adaptação da metodologia proposta por Shanahan et al. (1990).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para os níveis de déficit hídrico e pelo teste de Scott-Knott para as cultivares, ambos a 1% de probabilidade. A análise estatística foi realizada com auxílio do programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes de milho utilizadas nesta pesquisa tiveram teor de água médio de 11,22%, quando armazenadas em ambiente controlado com temperatura de 16 ± 2 °C e umidade relativa do ar em torno de 50%.

A interação significativa entre cultivares de milho e déficit hídrico foi verificada em todas as variáveis avaliadas ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), volume radicular (VR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e extravasamento de eletrólitos (EE) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio					
		G	PCG	IVG	CPA	CR	VR
Cultivar (C)	19	444,396**	393,092**	25,752**	16,129**	20,163**	0,00647**
Déficit hídrico (DH)	2	12363,517**	93801,654**	412,453**	1838,133**	149,553**	0,261**
C x EH	38	99,727**	218,637**	1,409**	3,551**	8,495**	0,00261**
Erro	180	43,094	40,354	0,666	0,935	2,223	0,001
Coeficiente de variação		7,61	29,54	5,69	13,71	13,37	12,16
Média Geral		86,308	21,504	14,331	7,051	11,171	0,189

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		MFPA	MFR	MSPA	MSR	EE
Cultivar (C)	19	0,0253**	0,0086**	0,0002**	0,0001**	31,459**
Déficit hídrico (DH)	2	3,572**	0,0603**	0,0125**	0,0004**	742,629**
C x DH	38	0,0063**	0,0016**	0,0000**	0,0000**	23,963**
Erro	180	0,001	0,000	0,000	0,000	4,760
Coeficiente de variação		14,44	16,14	13,16	11,93	21,94
Média Geral		0,257	0,114	0,025	0,018	9,946

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, GL – grau de liberdade.

A germinação e as variáveis que delimitam o vigor das cultivares de milho diminuíram com o déficit hídrico (Tabela 2). Nas condições de 0 MPa (controle), a maioria das cultivares de milho obteve altas taxas de germinação, variando de 85% a 100%. No entanto, em condições de escassez hídrica, a germinação diminuiu, especialmente no nível de -0,4 MPa,

onde cultivares como BRS 4103, Sintético 91801590, Sintético 91801600 e Sintético 91801601 apresentaram valores inferiores a 60% (Tabela 2).

No nível de -0,2 MPa (estresse moderado), as cultivares conseguiram manter a germinação elevada, com valor médio de 80%. No nível de -0,4 MPa, as cultivares BRS Cruzeta, HTC697, MC 70, Potiguar e Sintético PESAGRO-RIO apresentaram os melhores valores com germinação acima de 80%.

Tabela 2. Médias de germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG) e índice de velocidade de germinação (IVG) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.

Cultivares	G (%)			PCG (%)			IVG		
	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa
BRS 2022	86 aB	83 aB	72 bB	69 aB	0 bB	0 bB	16,65 aB	13,59 bC	11,47 cB
BRS 4103	97 aA	88 aB	58 bD	50 aC	1 bB	0 bB	16,04 aB	13,94 bC	11,43 cB
BRS Cruzeta	99 aA	98 aA	84 bA	72 aB	12 bA	2 bB	16,88 aB	14,93 aB	13,59 bA
BRS Gorutuba	100 aA	96 aA	77 bB	84 aA	10 bA	0 bB	18,13 aA	15,81 bA	13,84 cA
Capo 22	99 aA	97 aA	74 bB	74 aB	17 bA	0 cB	17,02 aB	16,42 aA	13,52 bA
HTC697	90 abB	93 aA	80 bB	65 aB	1 bB	0 bB	17,56 aA	15,13 bB	12,14 cB
HTC717	93 aA	89 aB	68 bC	54 aC	3 bB	0 bB	15,47 aC	13,52 bC	9,56 cC
HTC795	99 aA	93 aA	76 bB	36 aD	0 bB	0 bB	16,98 aB	13,31 bC	11,32 cB
MC 70	98 aA	96 abA	86 bA	62 aB	3 bB	1 bB	16,44 aB	14,30 bB	13,60 bA
PF 7008	98 aA	90 aB	71 bC	68 aB	1 bB	0 bB	18,15 aA	16,79 aA	13,15 bA
Potiguar	98 aA	94 aA	87 aA	83 aA	10 bA	0 bB	16,98 aB	15,54 bB	13,20 cA
Sintético 91801587	85 aB	82 aB	60 bD	46 aD	0 bB	0 bB	13,41 aD	11,10 bD	8,46 cD
Sintético 91801590	89 aB	79 aB	59 bD	50 aC	0 bB	0 bB	13,59 aD	11,04 bD	8,70 cD
Sintético 91801592	99 aA	95 aA	78 bB	44 aD	0 bB	0 bB	16,35 aB	14,90 bB	13,01 cA
Sintético 91801596	99 aA	98 aA	79 bB	62 aB	4 bB	0 bB	17,19 aB	16,04 aA	13,85 bA
Sintético 91801599	97 aA	96 aA	70 bC	56 aC	1 bB	0 bB	16,42 aB	15,25 aB	12,10 bB
Sintético 91801600	97 aA	89 aB	58 bD	48 aC	1 bB	0 bB	16,27 aB	14,43 bB	12,32 cB
Sintético 91801601	95 aA	85 aB	55 bD	54 aC	3 bB	0 bB	15,54 aC	12,50 bC	9,78 cC
Sintético PESAGRO-RIO	100 aA	96 abA	88 bA	80 aA	4 bB	0 bB	18,33 aA	15,36 bB	13,50 cA
UFLA JM100 POP AXB	98 aA	92 aA	69 bC	67 aB	0 bB	0 bB	17,65 aA	14,65 bB	11,73 cB

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna dentro de cada variável não diferem entre si pelos testes Tukey e Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente.

A primeira contagem de germinação (PCG) de todas as cultivares de milho diminuiu à medida que o déficit hídrico se intensificou de 0 a -0,4 MPa, e ocorreu germinação nula na maioria das cultivares expostas ao nível de -0,4 MPa (Tabela 2). No controle (0 MPa), as

cultivares apresentaram valores elevados de PCG, com destaque para BRS Gorutuba e Potiguar, que atingiram 84% e 83%, respectivamente. No nível de -0,2 MPa, apenas as cultivares BRS Gorutuba, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar mantiveram valores superiores a 10%.

A água desempenha um papel fundamental na germinação das sementes, pois é essencial para ativar enzimas hidrolíticas, como amilases e β -glicosidases, que degradam o amido em açúcares simples, fornecendo carboidratos para o desenvolvimento da plântula (Channaoui et al., 2019). Sob déficit hídrico, a absorção de água pelo tegumento da semente é reduzida, o que diminui a hidratação e retarda a hidrólise do amido (Saha et al., 2022). Isso resulta em fornecimento mais lento e insuficiente de nutrientes para o embrião, afetando negativamente a emergência da radícula e retardando o processo fisiológico (Laishram et al., 2024).

Ao avaliar sementes de milho, Henrique et al. (2021) verificaram que a redução do potencial hídrico provoca diminuição no desempenho das mesmas, com respostas variando conforme o genótipo. Estudos semelhantes corroboram esses achados, ressaltando a diferença genética entre materiais dentro de uma mesma espécie (Huqe et al., 2021; Yadav et al., 2022; Kthiri et al., 2024). A baixa disponibilidade de água nos estágios iniciais da germinação não é suficiente para a total embebição e ativação metabólica do embrião (Nautiyal; Sivasubramaniam; Dadlani, 2023), impedindo a atividade enzimática necessária à transformação dos nutrientes armazenados na semente em formas que possam ser utilizadas pelo embrião (Chada et al., 2023).

O índice de velocidade de germinação (IVG) (Tabela 2) diminuiu em todas as cultivares, à medida em que o potencial hídrico diminuiu. A diminuição do IVG ocorreu devido à baixa disponibilidade de água, que é um fator crítico para os processos fisiológicos envolvidos na germinação, como a embebição das sementes e a ativação metabólica (Ghadirnezhad Shiade et al., 2022). Em condições sem estresse, os maiores valores foram verificados pelas cultivares, BRS Gorutuba, HTC697, PF 7008, Sintético PESAGRO-RIO e UFLA JM100 POP AXB.

No déficit hídrico de -0,2 MPa, as cultivares PF 7008, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801599, Capo 22 e Potiguar tiveram menor decréscimo de IVG, se comparado com o controle (0 MPa), com redução média de 7%. No maior nível de estresse, comparado com o controle, os melhores índices foram apresentados pelas cultivares BRS Cruzeta, BRS Gorutuba, Capo 22, MC 70, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801592, Sintético

91801596 e Sintético PESAGRO-RIO. Nesse nível, os menores IVGs foram obtidos nas cultivares HTC717, Sintético 91801587, Sintético 91801590 e Sintético 91801601.

Cultivares de milho com maior capacidade de manutenção da germinação sob escassez hídrica frequentemente apresentam ajustes osmóticos, por meio do acúmulo de solutos compatíveis, e maior eficiência no uso da água, maximizando a absorção e o aproveitamento da água disponível (Farooq et al. 2024). Além disso, a capacidade de alguns materiais de manter um IVG estável sob estresse pode estar relacionada à expressão de genes associados à resistência à seca, como aqueles envolvidos na síntese de osmoprotetores e proteínas de choque térmico (Zhang et al., 2022).

As cultivares que apresentaram menor germinação no nível de -0,4 MPa também tiveram maior queda no índice de velocidade de germinação, como verificado em HTC717, Sintético 91801587, Sintético 91801590 e Sintético 91801601. Embora muitas sementes ainda consigam germinar, o processo ocorre de forma mais lenta, o que pode ser problemático em condições de campo, onde a germinação rápida é essencial para evitar competição com plantas invasoras e garantir uma emergência uniforme (Reed, Bradford e Khanday, 2022).

No crescimento inicial das plântulas (Tabela 3), constatou-se que todas as cultivares apresentaram redução do comprimento da parte aérea (CPA) com o aumento do déficit hídrico. Comparadas ao controle, as reduções médias foram de aproximadamente 54% no nível de -0,2 MPa e de 75% no nível de -0,4 MPa. Esses resultados evidenciam o impacto negativo do déficit hídrico no crescimento inicial das plântulas de milho. Sob déficit hídrico moderado (-0,2 MPa), as cultivares BRS 2022, Capo 22, MC 70, PF 7008, Sintético 91801599, Sintético 91801501 e Sintético PESAGRO-RIO se destacaram com comprimento acima de 6,5 centímetros. Entretanto, de maneira geral, verificou-se redução significativa no CPA para todas as cultivares, sendo mais acentuada em HTC795 (redução de 68,02%) e HTC717 (redução de 58,57%).

Tabela 3. Médias de comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e volume radicular (VR) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.

Cultivares	CPA (cm)			CR (cm)			VR (ml)		
	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa
BRS 2022	10,88 aC	6,80 bA	3,70 cA	13,55 aB	11,23 abB	10,83 bA	0,258 aB	0,175 bC	0,153 bB
BRS 4103	11,05 aC	4,00 bC	2,23 cB	10,95 aC	9,35 aB	9,75 aB	0,293 aA	0,185 bC	0,150 bB
BRS Cruzeta	12,90 aB	5,95 bB	2,73 cB	14,03 aB	11,63 aA	9,05 bB	0,315 aA	0,178 bC	0,175 bA
BRS Gorutuba	12,93 aB	6,05 bB	3,03 cA	11,00 aC	10,13 aB	8,73 aB	0,275 aB	0,195 bB	0,145 cB
Capo 22	14,98 aA	6,68 bA	3,60 cA	13,35 aB	12,95 aA	11,35 aA	0,258 aB	0,183 bC	0,160 bB
HTC697	12,58 aB	5,45 bB	4,03 bA	11,38 abC	8,90 bB	12,33 aA	0,265 aB	0,225 bA	0,205 bA
HTC717	9,53 aC	3,95 bC	1,63 cB	11,48 aC	9,63 abB	8,68 bB	0,265 aB	0,163 bC	0,133 bC
HTC795	10,48 aC	3,35 bC	2,00 bB	11,25 aC	10,60 aB	7,43 bB	0,300 aA	0,198 bB	0,120 cC
MC 70	14,10 aA	6,88 bA	3,15 cA	12,93 aB	11,43 abA	10,10 bB	0,223 aC	0,160 bC	0,125 bC
PF 7008	13,20 aB	6,73 bA	3,53 cA	10,68 aC	12,51 aA	10,05 aB	0,188 bD	0,245 aA	0,155 bB
Potiguar	14,70 aA	6,03 bB	2,60 cB	16,53 aA	13,15 bA	9,63 cB	0,285 aA	0,175 bC	0,150 bB
Sintético 91801587	10,08 aC	3,65 bC	1,98 cB	12,03 aC	10,45 abB	9,18 bB	0,265 aB	0,183 bC	0,098 cC
Sintético 91801590	10,58 aC	3,38 bC	3,08 bA	12,10 aC	9,85 abB	7,90 bB	0,300 aA	0,170 bC	0,120 cC
Sintético 91801592	10,28 aC	5,18 bB	2,55 cB	11,00 aC	10,08 aB	8,73 aB	0,188 aD	0,163 aC	0,120 bC
Sintético 91801596	11,03 aC	6,33 bB	2,95 cA	10,50 aC	11,10 aB	12,93 aA	0,198 aD	0,143 bD	0,138 bC
Sintético 91801599	15,08 aA	6,83 bA	3,73 cA	13,85 aB	12,00 abA	10,86 bA	0,230 aC	0,138 bD	0,120 bC
Sintético 91801600	14,80 aA	5,43 bB	4,00 bA	15,38 aA	10,95 bB	10,98 bA	0,210 aC	0,140 bD	0,110 bC
Sintético 91801601	14,28 aA	7,30 bA	3,65 cA	12,75 aB	12,95 aA	11,35 aA	0,228 aC	0,153 bD	0,115 bC
Sintético PESAGRO-RIO	12,70 aB	7,78 bA	3,65 cA	11,15 aC	9,60 aB	9,45 aB	0,233 aC	0,168 bC	0,130 bC
UFLA JM100 POP AXB	11,60 aC	5,60 bB	4,30 bA	12,78 aB	13,05 aA	10,85 aA	0,268 aB	0,205 bB	0,180 bA

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna dentro de cada variável não diferem entre si pelos testes Tukey e Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente.

No nível de -0,4 MPa, a cultivar HTC717 apresentou o menor valor de CPA (1,63 cm) (Tabela 3). A redução do potencial hídrico do meio diminuiu o turgor e a expansão celular, comprometendo a hidratação de estruturas essenciais para a ativação dos sistemas de reparo e a mobilização de reservas (Li et al., 2017; Rangel-Fajardo et al., 2019; Sousa et al., 2023).

Os níveis de déficit hídrico avaliados não ocasionaram reduções expressivas no comprimento das raízes das plântulas de milho, e as cultivares BRS 4103, BRS Gorutuba, Capo 22, PF 7008, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801601, Sintético PESAGRO-RIO e UFLA JM100 POP AXB não diferiram entre os tratamentos (Tabela 3). Sob estresse abiótico, o sistema radicular pode apresentar crescimento contínuo como um mecanismo adaptativo, visando aumentar a capacidade de exploração e absorção de água, de

modo a sustentar o desenvolvimento da parte aérea (Abdelaal et al., 2022). O hidrotropismo, que se refere ao crescimento direcional das raízes em direção à umidade, é essencial para a adaptação das plantas a condições de seca (Chada et al., 2023).

As cultivares UFLA JM100 POP AXB, Sintético 91801601, Sintético 91801596 e PF 7008 obtiveram um incremento de 2%, 2%, 6% e 17%, respectivamente, no tamanho das raízes no potencial hídrico de -0,2 MPa em relação ao controle. No nível mais severo (-0,4 MPa), constatou-se um incremento no crescimento de 8% da cultivar HTC697 e 23% da cultivar Sintético 91801596, quando comparada com o controle, já as cultivares HTC795 (7,43 cm) e Sintético 91801590 (7,9 cm) tiveram os menores valores de CR, indicando menor capacidade de manutenção do crescimento radicular sob déficit hídrico.

A redução da disponibilidade hídrica também diminuiu o volume radicular (VR) em todas as cultivares, exceto na cultivar PF 7008, que apresentou um aumento de 30% a -0,2 MPa em comparação ao controle. De modo geral, a maior tolerância foi verificada nas cultivares que mantiveram valores superiores nas duas condições de déficit hídrico, como BRS Cruzeta, BRS Gorutuba, PF 7008, HTC697 e UFLA JM100 POP AXB, em comparação com aquelas que apresentaram valores muito reduzidos, como Sintético 91801599, Sintético 91801600 e Sintético 91801601. Além das cultivares destacadas anteriormente, as cultivares Capô 22 e Potiguar apresentaram um desempenho satisfatório em termos de volume, com média de 0,179 cm³ ao nível de -0,2 MPa e 0,162 cm³ ao nível de -0,4 MPa.

A tolerância à desidratação de um genótipo refere-se a menores alterações em comparação com outro, sob as mesmas condições, sendo avaliada por parâmetros de crescimento ou recuperação das plantas (Ranjith, Rao, 2021). Alterações fisiológicas e anatômicas são adaptações das plantas para minimizar os custos metabólicos associados ao crescimento e à exploração do solo, aumentando suas chances de sobrevivência em ambientes adversos (Bianchini, Marques, 2019), como constatado para as cultivares BRS Gorutuba, HTC697, Sintético 91801601, Sintético 91801596, PF 7008 e UFLA JM100 POP AXB, que apresentaram maior crescimento e volume radicular em resposta à restrição hídrica.

O alongamento celular na região apical da zona de crescimento sob condições de restrição hídrica, juntamente com o afinamento da raiz, representa uma resposta adaptativa coordenada que permite à raiz o uso de recursos limitados para sustentar o transporte adequado de água e de solutos para a região apical vital e, assim, continuar a busca de água a um custo mínimo (Voothuluru et al., 2020, Voothuluru, Wu, Sharp, 2024). Esse processo é regulado pela sinalização hormonal, com destaque para o ácido abscísico, que promove o

alongamento das raízes primárias enquanto inibe a formação de ramificações laterais (Qiao et al., 2024).

O déficit hídrico impactou significativamente a massa fresca da parte aérea (MFPA) de todas as cultivares avaliadas (Tabela 4), resultando em reduções médias de 54% e 75% nos níveis de -0,2 MPa e -0,4 MPa, respectivamente. Essas reduções estão em conformidade com a literatura, que demonstra que a escassez hídrica afeta diretamente os processos fisiológicos essenciais, como a manutenção do turgor, a expansão celular e o transporte de nutrientes, resultando em menor alongamento e acúmulo de biomassa (Tardieu, Simonneau, Muller, 2018; Kapoor et al., 2020).

Sob déficit hídrico moderado (-0,2 MPa), algumas cultivares demonstraram maior tolerância, destacando-se BRS 2022, UFLA JM100 POP AXB, Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, HTC697, BRS Gorutuba, Sintético 91801596, Sintético 91801599, Sintético 91801601, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar, todas com valores de MFPA acima da média geral (Tabela 4). No nível mais severo de estresse (-0,4 MPa), ocorreu redução mais acentuada na MFPA, contudo, apesar dessa diminuição generalizada, as cultivares BRS 2022, UFLA JM100 POP AXB, Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, HTC697, BRS Gorutuba e Capo 22 se destacaram com os maiores valores.

Tabela 4. Médias de massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.

Cultivares	MFPA (g/plântula)			MFR (g/plântula)		
	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa
BRS 2022	0,478 aC	0,229 bA	0,117 cA	0,171 aC	0,121 bB	0,090 cB
BRS 4103	0,462 aD	0,130 bB	0,067 cB	0,145 aC	0,122 abB	0,112 bB
BRS Cruzeta	0,549 aB	0,205 bA	0,081 cB	0,117 aD	0,087 aC	0,092 aB
BRS Gorutuba	0,610 aA	0,228 bA	0,104 cA	0,183 aB	0,122 bB	0,113 bB
Capo 22	0,627 aA	0,227 bA	0,116 cA	0,092 aE	0,072 aD	0,090 aB
HTC697	0,524 aC	0,218 bA	0,130 cA	0,213 aA	0,147 bB	0,150 bA
HTC717	0,387 aE	0,122 bB	0,048 cB	0,150 aC	0,100 bC	0,095 bB
HTC795	0,491 aC	0,111 bB	0,060 bB	0,187 aB	0,128 bB	0,121 bB
MC 70	0,568 aB	0,225 bA	0,095 cA	0,159 aC	0,101 bC	0,075 bC
PF 7008	0,600 aA	0,245 bA	0,120 cA	0,190 aB	0,190 aA	0,113 bB
Potiguar	0,564 aB	0,198 bA	0,074 cB	0,120 aD	0,067 bD	0,058 bC
Sintético 91801587	0,380 aE	0,107 bB	0,063 bB	0,147 aC	0,117 abB	0,088 bB
Sintético 91801590	0,379 aE	0,101 bB	0,096 bA	0,111 aD	0,084 aC	0,104 aB
Sintético 91801592	0,390 aE	0,152 bB	0,074 cB	0,093 aE	0,074 aD	0,081 aC
Sintético 91801596	0,374 aE	0,184 bA	0,076 cB	0,094 aE	0,086 aC	0,097 aB
Sintético 91801599	0,528 aC	0,190 bA	0,098 cA	0,178 aB	0,048 bD	0,070 bC
Sintético 91801600	0,497 aC	0,147 bB	0,096 bA	0,141 aC	0,068 bD	0,047 bC
Sintético 91801601	0,499 aC	0,197 bA	0,088 cB	0,113 aD	0,092 aC	0,061 bC
Sintético PESAGRO-RIO	0,515 aC	0,261 bA	0,110 cA	0,136 aD	0,120 aB	0,108 aB
UFLA JM100 POP AXB	0,486 aC	0,197 bA	0,131 cA	0,167 aC	0,130 bB	0,106 bB

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna dentro de cada variável não diferem entre si pelos testes Tukey e Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente.

O déficit hídrico exerce influência direta sobre a matéria fresca das plantas, uma vez que a disponibilidade de água é essencial para manter o turgor celular. A redução do conteúdo hídrico nas células provoca a diminuição da pressão de turgor, comprometendo o crescimento celular e limitando a expansão dos tecidos (Alghamdi et al., 2024). Esse efeito cascata reduz a assimilação de carbono e a alocação de recursos, resultando em menor acúmulo de biomassa e potencialmente afetando o desenvolvimento e a produtividade da planta (Seleiman et al., 2021). Além disso, a restrição de água compromete o transporte de nutrientes, impactando processos metabólicos essenciais que sustentam o crescimento da planta (Laishram et al., 2024).

Para as cultivares BRS 4103, BRS Cruzeta, Capo 22, PF 7008, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801601 e Sintético

PESAGRO-RIO, não houve diferenças significativas na massa fresca de raiz (MFR) entre o controle e o potencial hídrico de -0,2 MPa (Tabela 4). Destaca-se a cultivar PF 7008, que manteve a biomassa sem redução e resultou em maior massa fresca nesse nível de estresse. No nível mais elevado de déficit hídrico (-0,4 MPa), a MFR das cultivares BRS Cruzeta, Capo 22, Sintético 91801590, Sintético 91801592, Sintético 91801596 e Sintético PESAGRO-RIO permaneceu sem influência significativa. Entre as cultivares avaliadas, a HTC697 sobressaiu-se por apresentar a maior massa fresca de raiz no nível de -0,4 MPa.

Além de características fisiológicas e morfológicas que favorecem a exploração do solo em busca de água, através de um sistema radicular mais denso e profundo (Tariq et al., 2024), as plantas também desenvolvem mecanismos de ajuste osmótico para tolerar condições de seca. O ajuste osmótico consiste no acúmulo ativo de solutos compatíveis no interior das células, promovendo o equilíbrio entre o potencial hídrico do meio e o potencial osmótico celular, mantendo um gradiente favorável à entrada de água e preservando, assim, a pressão de turgor (Pamungkas et al., 2022, Khan et al., 2025). A manutenção da turgidez celular auxilia na funcionalidade das raízes mesmo sob condições de maior estresse.

Em contrapartida, alguns materiais tiveram a biomassa fresca da raiz reduzida com o aumento do déficit hídrico, conforme constatado nas cultivares Sintético 91801599, Sintético 91801600 e Potiguar, com redução de 73, 52 e 44%, respectivamente, no nível moderado de estresse (-0,2 MPa). No potencial hídrico de -0,4 MPa, a redução média dessas cultivares mencionadas foi de 60% em comparação ao controle.

Embora o estresse por seca possa manter o alongamento do sistema radicular para garantir o suprimento de água e melhorar a adaptação, ele afeta negativamente as características gerais importantes da raiz, como biomassa e número de ramos laterais, com o intuito de reduzir o consumo de recursos limitados no metabolismo total (Kang, Peng, Xu, 2022). Como consequência, há um impacto negativo direto no desenvolvimento estrutural e na produtividade final das plantas, comprometendo sua resiliência e competitividade em ambientes de seca prolongada (Ma et al., 2025).

Em linhagens de milho, Zhang et al. (2024) encontraram interações significativas entre altura da planta, peso fresco da planta, peso fresco da raiz e comprimento da raiz sob escassez hídrica, e as mudanças diferenciaram a resposta do germoplasma sob estresse. Nesta pesquisa, verificou-se que o acúmulo de biomassa fresca de parte aérea e raiz diminuiu em 60,02% e 34,35%, respectivamente, em comparação com as condições normais. Com isso, esses indicadores morfológicos foram definidos como potencialmente importantes para a seleção de variedades resistentes.

A restrição hídrica afetou negativamente a massa seca da parte aérea (MSPA), com reduções constatadas em todas as cultivares (Tabela 5). Esses resultados sugerem que a diminuição do turgor pode ter impactado o crescimento, limitando a expansão das folhas e, conseqüentemente, reduzindo a biomassa da parte aérea (Sousa et al., 2023). As cultivares com melhores desempenhos sob os dois níveis de déficit hídrico foram BRS 2022, UFLA JM100 POP AXB, Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, HTC697, BRS Gorutuba, MC 70 e Capo 22. A maior redução no MSPA, nos dois níveis, foi verificada para a cultivar HTC795.

Tabela 5. Médias de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e extravasamento de eletrólitos de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao déficit hídrico. Mossoró-RN, 2025.

Cultivares	MSPA (g/plântula)			MSR (g/plântula)			EE (%)		
	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa	0,0MPa	-0,2MPa	-0,4MPa
BRS 2022	0,036 aB	0,025 bA	0,017 cA	0,020 aB	0,016 bC	0,015 bC	7 aB	7 aC	7 aD
BRS 4103	0,036 aB	0,016 bB	0,011 bB	0,018 aC	0,018 aC	0,017 aB	12 abA	9 bB	14 aB
BRS Cruzeta	0,043 aA	0,025 bA	0,013 cB	0,022 aB	0,020 aB	0,020 aA	10 aB	5 bC	10 aC
BRS Gorutuba	0,048 aA	0,028 bA	0,016 cA	0,022 aB	0,024 aA	0,016 bB	14 aA	8 bC	12 abC
Capo 22	0,047 aA	0,026 bA	0,017 cA	0,020 aC	0,020 aB	0,018 aB	7 bB	8 bC	12 aC
HTC697	0,037 aB	0,025 bA	0,018 cA	0,022 aB	0,019 aB	0,021 aA	7 bB	9 bB	15 aB
HTC717	0,030 aC	0,015 bB	0,009 cB	0,018 aC	0,016 aC	0,016 aC	7 cB	13 bA	16 aB
HTC795	0,038 aB	0,015 bB	0,010 bB	0,023 aB	0,018 bC	0,017 bB	7 bB	12 aA	12 aC
MC 70	0,043 aA	0,026 bA	0,015 cA	0,021 aB	0,019 aB	0,015 bC	5 bB	6 bC	11 aC
PF 7008	0,046 aA	0,027 bA	0,019 cA	0,020 bB	0,026 aA	0,017 cB	8 bB	7 bC	14 aB
Potiguar	0,046 aA	0,025 bA	0,013 cB	0,028 aA	0,021 bB	0,015 cC	7 bB	7 bC	14 aB
Sintético 91801587	0,030 aC	0,014 bB	0,010 bB	0,020 aB	0,017 aC	0,014 bC	6 cB	9 bB	16 aB
Sintético 91801590	0,032 aC	0,013 bB	0,013 bB	0,022 aB	0,016 bD	0,014 bB	9 bB	11 bA	20 aA
Sintético 91801592	0,031 aC	0,018 bB	0,011 cB	0,016 aD	0,012 bD	0,013 abC	9 bB	10 bB	17 aB
Sintético 91801596	0,030 aC	0,022 bA	0,012 cB	0,015 aD	0,016 aC	0,017 aB	7 bB	9 bB	16 aB
Sintético 91801599	0,039 aB	0,023 bA	0,014 cB	0,022 aB	0,017 bC	0,015 bC	8 bB	8 bC	15 aB
Sintético 91801600	0,039 aB	0,018 bB	0,014 bB	0,019 aC	0,013 bD	0,014 bC	7 bB	7 bC	14 aB
Sintético 91801601	0,039 aB	0,023 bA	0,013 cB	0,018 aC	0,017 aC	0,012 bC	8 aB	7 aC	10 aC
Sintético PESAGRO-RIO	0,040 aB	0,029 bA	0,017 cA	0,017 aD	0,015 aC	0,016 aC	15 aA	6 cC	11 bC
UFLA JM100 POP AXB	0,038 aB	0,024 bA	0,018 cA	0,024 aB	0,018 bC	0,017 bB	7 bB	7 bC	15 aB

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna dentro de cada variável não diferem entre si pelos testes Tukey e Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente.

Sob ausência de estresse (0 MPa), as cultivares variaram na massa seca da raiz (MSR), tendo a Potiguar registrado o maior valor (Tabela 5). O aumento da deficiência hídrica não afetou significativamente as cultivares BRS 4103, BRS Cruzeta, Capo 22, HTC697, HTC717,

Sintético 91801596 e Sintético PESAGRO-RIO, evidenciando maior tolerância e eficiência metabólica. Além disso, as cultivares BRS Gorutuba e PF 7008 resultaram em acréscimo de 9 e 30%, respectivamente, no nível moderado de déficit hídrico (-0,2 MPa) quando comparadas ao controle (Tabela 5). Os menores valores constatados de biomassa seca de raiz foram para as cultivares Sintético 91801592, Sintético 91801600 e Sintético 91801601.

A redução significativa na MSPA e MSR sob condições de déficit hídrico está em conformidade com estudos recentes, que demonstram que esse estresse limita o crescimento vegetativo e o desenvolvimento radicular na cultura do milho (Andrade et al., 2018; Melo et al., 2018; Parveen et al., 2019; Gonulal, 2022; Yan et al., 2023). Contudo, é notável que o desenvolvimento da parte aérea foi mais afetado do que o da raiz. Em geral, plantas expostas ao estresse por seca tendem a direcionar seus esforços para as raízes, promovendo o equilíbrio entre as demandas radiculares, como a absorção de água e nutrientes, e as necessidades das folhas, como o desenvolvimento da parte aérea (Queiroz et al., 2019).

A massa seca da parte aérea é um indicador da capacidade fotossintética, do ganho de carbono e do acúmulo de biomassa, enquanto a massa seca da raiz reflete a eficiência do sistema radicular em absorver água e nutrientes (Lambers, Oliveira, 2019). As cultivares que conseguem manter valores relativamente altos de biomassa seca mesmo sob déficit hídrico sugerem maior tolerância a essas condições (Pour-Aboughadareh et al., 2019). Diante disso, apresentam mecanismos, como o ajustamento osmótico e a manutenção da turgidez celular, que permitem a continuidade do crescimento mesmo sob condições adversas.

A redução do potencial hídrico do substrato aumentou o extravasamento de eletrólitos (EE) em todas as cultivares avaliadas com exceção da BRS 2022 e da Sintético 91801601, que não apresentaram diferença estatística entre os níveis (Tabela 5). As cultivares BRS 4103, BRS Gorutuba e Sintético PESAGRO-RIO resultaram em valores elevados no tratamento controle, diferindo da média geral. Maior extravasamento de eletrólitos nem sempre significa que a planta seja sensível ao estresse (Queiroz et al., 2023), já que pode estar relacionado ao efluxo de K^+ , que é abundante nas células vegetais (Demidchik et al., 2014).

Quando se compara a média das cultivares dentro de cada potencial hídrico, verifica-se que, no nível de -0,2 MPa, o melhor valor de EE foi obtido pela cultivar BRS Cruzeta (5%), enquanto os piores foram verificados para as cultivares HTC717 (13%), HTC795 (12%) e Sintético 91801590 (11%). No que se refere ao nível de -0,4 MPa, o menor valor de EE foi obtido pela cultivar BRS 2022, enquanto as cultivares HTC717, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801592 e Sintético 91801596 tiveram os maiores valores, indicando danos celulares sob as condições de estresse.

Esses resultados estão alinhados com estudos que indicam que o vazamento de eletrólitos aumenta sob estresse devido aos danos causados na membrana celular pelos estresses oxidativo, peroxidação lipídica e desidratação (Khan et al., 2025). No presente estudo, o déficit hídrico no milho aumentou o vazamento de eletrólitos em 195% em comparação com as plantas de controle. Da mesma forma, em pesquisa avaliando a tolerância ao estresse da seca no milho híbrido, constatou-se aumento de 40,2% no extravasamento de eletrólitos nas plantas estressadas em comparação com as irrigadas (Bekkam, Thiyagarajan, 2024).

O estresse hídrico danifica a membrana plasmática da planta por meio da redução significativa do conteúdo relativo de água e da taxa de transpiração nas plantas, levando à oxidação de ácidos graxos insaturados e à degradação de proteínas (Su et al., 2025). Além disso, há um aumento na produção de radicais livres e espécies reativas de oxigênio (EROs), compostos oxidativos que provocam danos aos componentes celulares (Dutta et al., 2025), principalmente pela ação da enzima fosfolipase, cuja atividade pode ser intensificada em condições de estresse (Wang et al., 2020).

O aumento do EE sob déficit hídrico constitui um fator limitante para a sobrevivência e crescimento das plantas em ambientes sob esse estresse. Cultivares com menores valores de EE sob déficit hídrico, como BRS 2022 e BRS Cruzeta, podem possuir mecanismos mais eficientes de detoxificação de espécies reativas de oxigênio (EROs) e manutenção da estabilidade da membrana (Mansoor et al., 2023).

Em síntese, as cultivares BRS 2022, BRS Gortuba, BRS Cruzeta e Potiguar apresentaram desempenho geral superior em comparação às demais. Essas cultivares foram desenvolvidas com foco na região semiárida e são utilizadas no Nordeste brasileiro devido à sua boa produtividade em áreas com ciclos de cultivo mais curtos (Pacheco et al., 2009; Pessoa et al., 2016; Pacheco, 2016; Melo et al., 2018).

Os resultados obtidos nesse trabalho reforçam a existência de variabilidade entre as cultivares de milho quanto à resposta ao déficit hídrico indicando a possibilidade de seleção de genótipos mais tolerantes para ambientes com disponibilidade limitada de água. Contudo, é necessário estudar como esses genótipos se comportam em diferentes estádios de desenvolvimento, em ambientes contrastantes e sob interação com outros fatores bióticos e abióticos, a fim de aprofundar a compreensão dos mecanismos de tolerância e aumentar a aplicação dos resultados.

4 CONCLUSÕES

As cultivares BRS 2022, BRS Cruzeta, BRS Gorutuba, Capo 22, HTC697, MC 70, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801596, Sintético PESAGRO-RIO e UFLA JM100 POP AXB obtiveram os melhores desempenhos nos potenciais hídricos de -0,2 e -0,4 MPa sob escassez hídrica.

As cultivares HTC717, HTC795, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801599 e Sintético 91801600 apresentam os piores desempenhos iniciais no nível mais elevado de deficiência hídrica (-0,4 MPa).

REFERÊNCIAS

- ABDELAAL, K. et al. Physiological and biochemical changes in vegetable and field crops under drought, salinity and weeds stresses: control strategies and management. **Agriculture**, v. 12, n. 12, p. 2084, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122084>
- AHLUWALIA, O.; SINGH, P. C.; BHATIA, R. A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 5, p. 100032, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100032>
- AHMAD, S. et al. Ameliorative effect of melatonin improves drought tolerance by regulating growth, photosynthetic traits and leaf ultrastructure of maize seedlings. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 1, p. 368, 2021. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03160-w>
- ALGHAMDI, S. A. Drought and salinity effects on plant growth: a comprehensive review. **SABRAO Journal of Breeding & Genetics**, v. 56, n. 6, 2024. <http://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.6.14>
- ANDRADE, F. R. et al. Selenium protects rice plants from water deficit stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 164, p. 562-570, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.022>
- BADR, A. et al. Screening for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) germplasm using germination and seedling traits under simulated drought conditions. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 565, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9050565>
- BEKKAM, R.; THIYAGARAJAN, C. Foliar application of rice husk derived nanosilica for mitigating drought stress in hybrid maize by boosting antioxidant defense system. **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 16, p. 100482, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100482>
- BIANCHINI, H. C.; MARQUES, D. J. Tolerance to hydric stress on cultivars of silicon-fertilized corn crops: absorption and water-use efficiency. **Bioscience Journal (Online)**, p. 527-539, 2019. doi: 10.14393/BJ-v35n2a2019-42347
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- CHADA, S. et al. An overview of plant morpho-physiology, biochemicals, and metabolic pathways under water stress. **Horticulture International Journal**, v. 7, n. 4, p. 115-25, 2023. doi: 10.15406/hij.2023.07.00285
- CHANNAOUI, S. et al. Reaction of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to different drought stress levels during germination and seedling growth stages. **OCL**, v. 26, p. 23, 2019. doi:10.1051/OCL/2019020
- DEMIDCHIK, V. et al. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. **Journal of experimental botany**, v. 65, n. 5, p. 1259-1270, 2014. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru004>

DUTTA, S. et al. Harmonizing plant resilience: unveiling the symphony of membrane lipid dynamics in response to abiotic stresses: a review. **Discover Plants**, v. 2, n. 1, p. 61, 2025. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00152-0>

FAROOQ, M. et al. Recent advances in plant drought tolerance. **Journal of Plant Growth Regulation**, V 43, p 3337–3369, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11351-6>.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

GHADIRNEZHAD SHIADE, S. R. et al. ‘Plants’ responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—a review’, **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 9, p. 2198–2230, 2022. doi: 10.1080/01904167.2022.2105720.

GONULAL, E. Effects of different water stress levels on biomass, root yield, and some physiological parameters of sorghum. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 24, n. 6, p. 1487-1500, 2022. doi: 10.52547/jast.24.6.1487

HASANUZZAMAN, M. et al. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. **Antioxidants**, v. 9, n. 8, p. 681, 2020. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>

HENRIQUE, I. G. et al. Déficit hídrico e a germinação de sementes de híbridos de milho. **Nativa**, v. 9, n. 3, p. 240-246, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i3.9686>

HERNÁNDEZ, V. A. G. et al. Maize (*Zea mays* L.) landraces classified by drought stress tolerance at the seedling stage. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 29–36, 2021. DOI: 10.9755/ejfa.2021.v33.i1.2356. Disponível em: <https://ejfa.me/index.php/journal/article/view/2356>. Acesso em: 23 jan. 2025.

HOSSEINI, S. M. S. et al. Genetic analysis and association detection of agronomic traits in maize genotypes. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 399, 2025. doi: 10.1038/s41598-024-84471-4

HUQE, M. A. S. et al. Characterization of maize hybrids (*Zea mays* L.) for detecting salt tolerance based on morpho-physiological characteristics, ion accumulation and genetic variability at early vegetative stage. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2549, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10112549>

IBGE. **Produção Agrícola Municipal - PAM**| IBGE. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados> Acesso em: 16 fevereiro 2025.

KANG, J.; PENG, Y.; XU, W. Crop root responses to drought stress: molecular mechanisms, nutrient regulations, and interactions with microorganisms in the rhizosphere. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 16, p. 9310, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijms23169310>

KAPOOR, D. et al. The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. **Applied Sciences**, v. 10, n. 16, p. 5692, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10165692>

- KHAN, P. et al. Proline promotes drought tolerance in maize. **Biology**, v. 14, n. 1, p. 41, 2025. <https://doi.org/10.3390/biology14010041>
- KTHIRI, Z. et al. Drought tolerance assessment in maize hybrids: Morphophysiological and biochemical characterization. **SABRAO Journal of Breeding and Genetics**, v. 56, n. 6, p. 2341-2350, 2024. <http://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.6.15>
- LAISHRAM, R. et al. Effect on morphology, physiology, and biochemistry of plants under different stresses. In: **Molecular Dynamics of Plant Stress and its Management**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 159-192. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1699-9_7
- LAMBERS, H., OLIVEIRA, R. S. Growth and allocation. In: **Plant Physiological Ecology**. Springer, p. 385-449, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1_10
- LI, J. et al. Research progress on the mechanism of salt tolerance in maize: a classic field that needs new efforts. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2356, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12122356>
- LI, W. U. et al. Dynamics of seed germination, seedling growth and physiological responses of sweet corn under peg-induced water stress. **Pakistan Journal of Botany**, v. 49, n. 2, p. 639-646, 2017. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173195449> Acesso em: 13 fevereiro 2025.
- MA, Y. et al. Enhancing maize yield and water productivity through coordinated root-shoot growth under mild water stress in dense planting. **Field Crops Research**, v. 323, p. 109786, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109786>
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- MANSOOR, S. et al. Heavy metal induced oxidative stress mitigation and ROS scavenging in plants. **Plants**, v. 12, n. 16, p. 3003, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12163003>
- MELO, A. S. de et al. Crescimento e pigmentos cloroplastídicos de genótipos de feijão vigna sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 3, p. 2579, 2018. doi: 10.7127/rbai.v12n300698
- MUSTAMU, N. E. et al. Drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) in local maize at the early seedling stage. **Heliyon**, v. 9, n. 9, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20209>
- NAUTIYAL, P. C.; SIVASUBRAMANIAM, K.; DADLANI, M. Seed dormancy and regulation of germination. In: **Seed science and technology: Biology, production, quality**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 39-66. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_3
- PACHECO, C. A. P. et al. **BRS 2022: híbrido duplo de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Comunicado Técnico, n. 7). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/662229> Acesso em: 02 de maio de 2025

PAMUNGKAS, S. S. T. et al. Drought stress: responses and mechanism in plants. **Reviews in Agricultural Science**, v. 10, p. 168-185, 2022. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_168

PARVEEN, A. et al. Silicon priming regulates morpho-physiological growth and oxidative metabolism in maize under drought stress. **Plants**, v. 8, n. 10, p. 431, 2019. <https://doi.org/10.3390/plants8100431>

PESSOA, S. T. C. Desempenho de cultivares de milho na região produtora de Frei Paulo, Sergipe. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 31., 2016, Bento Gonçalves. Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

POUR-ABOUGHADAREH, A. et al. Effect of water deficit stress on seedling biomass and physio-chemical characteristics in different species of wheat possessing the D genome. **Agronomy**, v. 9, n. 9, p. 522, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090522>

QIAO, M. et al. Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. **Plants**, v. 13, n. 13, p. 1808, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13131808>

QUEIROZ, G. C. M. et al. Growth, solute accumulation, and ion distribution in sweet sorghum under salt and drought stresses in a Brazilian potiguar semiarid area. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 803, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040803>

QUEIROZ, M. S. et al. Drought stresses on seed germination and early growth of maize and sorghum. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p. 310-318, 2019. doi: 10.5539/jas.v11n2p310

RANGEL-FAJARDO, M. A. et al. Polyethylene glicol 8000 to identify corn tolerant to water stress during germination. **Agronomía Mesoamericana**, v. 30, n. 1, p. 255-266, 2019. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v30i1.34198>

RANJITH, P.; RAO, M. S. Breeding for drought resistance. In: **Plant breeding-current and future views**. IntechOpen, 2021. doi: 10.5772/intechopen.97276

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Heredity**, v. 128, n. 6, p. 450-459, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>

SAHA, D. et al. Drought stress responses and inducing tolerance by seed priming approach in plants. **Plant Stress**, v. 4, p. 100066, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100066>

SELEIMAN, M. F. et al. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 259, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>

SERNA-SALDIVAR, S. O. **Corn: chemistry and technology**. 3rd ed. AACC International Press: Oxford, UK, 2019.

SHANAHAN J. F. et al. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. **Crop Sci.** 30: 247–251, 1990.

- SOUSA, L. I. S. et al. Does silicon attenuate PEG 6000-induced water deficit in germination and growth initial the seedlings corn. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e265991, 2023. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.265991>
- SU, X. et al. Mechanisms for cell survival during abiotic stress: focusing on plasma membrane. **Stress Biology**, v. 5, n. 1, 2025. <https://doi.org/10.1007/s44154-024-00195-5>
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 6^a ed., 2017.
- TARDIEU, F.; SIMONNEAU, T.; MULLER, B. The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. **Annual review of plant biology**, v. 69, n. 1, p. 733-759, 2018. doi: 10.1146/annurev-arplant-042817-040218
- TARIQ, A. et al. Plant root mechanisms and their effects on carbon and nutrient accumulation in desert ecosystems under changes in land use and climate. **New Phytologist**, v. 242, n. 3, p. 916-934, 2024. <https://doi.org/10.1111/nph.19676>
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>. Acesso em: 16 abril 2024.
- VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11-12, p. 1957-1968, 1991.
- VOOTHULURU, P. et al. Apoplastic hydrogen peroxide in the growth zone of the maize primary root. Increased levels differentially modulate root elongation under well-watered and water-stressed conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 392, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00392>
- VOOTHULURU, P.; WU, Y.; SHARP, R. E. Not so hidden anymore: advances and challenges in understanding root growth under water deficits. **The Plant Cell**, v. 36, n. 5, p. 1377-1409, 2024. <https://doi.org/10.1093/plcell/koae055>
- WANG, Y. et al. Dynamic changes in membrane lipid composition of leaves of winter wheat seedlings in response to PEG-induced water stress. **BMC Plant Biology**, v. 20, p. 1-15, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2257-1>
- WARSI, M. K.; HOWLADAR, S. M.; ALSHARIF, M. A. Regulon: An overview of plant abiotic stress transcriptional regulatory system and role in transgenic plants. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e245379, 2021. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.245379>
- YADAV, P. K. et al. Morpho-physiological characterization of maize (*Zea mays* L.) genotypes against drought. In: **Biological Forum: An International Journal**. 2022. p. 0975-1130.
- YAN, S. et al. Effects of drought stress on water content and biomass distribution in summer maize (*Zea mays* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1118131, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1118131>
- ZENG, W. et al. Comparative proteomics analysis of the seedling root response of drought-sensitive and drought-tolerant maize varieties to drought stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 11, p. 2793, 2019.

ZHANG, H. et al. Abiotic stress responses in plants. **Nature Reviews Genetics**, v. 23, n. 2, p. 104-119, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41576-021-00413-0>

ZHANG, Z et al. Screening and physiological responses of maize inbred lines to drought stress in South China. **Sustainability**, v. 16, n. 17, p. 7366, 2024. <https://doi.org/10.3390/su1617736>

CAPÍTULO 2

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE MILHO SOB ESTRESSE SALINO

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal de relevância global, amplamente valorizado por suas múltiplas aplicações. No Brasil, a produção de milho coloca o país entre os três maiores produtores do mundo. Entretanto, a produtividade agrícola é frequentemente afetada por estresses abióticos, como a salinidade, especialmente prejudicial às fases iniciais do desenvolvimento das plântulas. Dessa forma, objetivou-se avaliar a tolerância de cultivares de milho submetidas ao estresse salino durante a germinação e a fase inicial de crescimento da plântula. A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análises de Sementes (LAS) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN. O delineamento foi inteiramente casualizado seguindo o arranjo fatorial 20 x 3, sendo o primeiro fator formado por vinte cultivares de milho (BRS 2022, UFLA-JM 100-POP AXB, Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, HTC697, HTC717, HTC795, BRS 4103, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801592, BRS Gorutuba, Sintético 91801596, Sintético 91801599, Sintético 91801600, Sintético 91801601, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar) e o segundo fator por três concentrações de NaCl (0; 100 e 200 mmol/L). As variáveis analisadas foram germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea e da raiz primária, volume radicular, massa fresca da parte aérea e da raiz, massa seca da parte aérea e da raiz e taxa de extravasamento de eletrólitos. A salinidade não afetou a germinação, mas reduziu o vigor, a biomassa e a estabilidade das membranas das cultivares de milho. As cultivares Sintético PESAGRO-RIO, PF 7008, BRS Gorutuba, Sintético 91801592, Sintético 91801599, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar foram as mais tolerantes, enquanto as cultivares HTC717, HTC795, Sintético 91801587, Sintético 91801590 e Sintético 91801601 foram as mais sensíveis ao estresse salino no crescimento inicial das plântulas.

Palavras-chaves: *Zea mays* L.; germinação; plântulas; salinidade.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta C4 que pertence à família Poaceae, destacando-se como uma das culturas mais importantes da atividade agrícola mundial, devido à sua ampla utilização na alimentação humana, animal e na indústria (Yang et al., 2023). O Brasil ocupa posição de destaque na produção, sendo o terceiro maior produtor e alcançando a marca de 124 milhões de toneladas (USDA, 2024). As principais regiões produtoras do país incluem o Centro-Oeste, Sul e Sudeste, responsáveis por 87% da produção nacional (IBGE, 2023).

A produtividade na região Nordeste ainda é baixa em decorrência de vários fatores, como o manejo empregado, a tecnificação do processo de produção, questões econômicas e, em especial, os fatores abióticos, sobretudo o estresse salino. O semiárido nordestino é bastante afetado pela alta evapotranspiração nos períodos de seca, o que intensifica a utilização das águas subterrâneas, as quais normalmente provocam aumento da concentração de sais nos recursos hídricos (Lima et al., 2020). A salinidade do solos e da água afetam a produção agrícola e a ecologia, e esse excesso de íons ocasionam efeitos negativos às plantas por meio do estresse osmótico, oxidativo e toxicidade iônica (Zhang et al., 2023).

O estresse salino altera o potencial osmótico, compromete a assimilação de CO₂, enfraquece a maquinaria fotossintética e modifica a relação K⁺/Na⁺ (Islam et al., 2022). Além disso, causa danos oxidativos por meio da geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) e prejuízos às membranas devido à peroxidação lipídica (Shan et al., 2024). Na fase germinativa, esses efeitos são mais acentuados, com ocorrência de redução na germinação e no crescimento da radícula e da plúmula, influenciando o estabelecimento, o crescimento e o rendimento da planta (Guo et al., 2024). Para ocorrer a germinação, é necessário a quebra de determinada quantidade de amido com o objetivo de fornecer energia para a síntese do material (Taiz et al., 2017). Portanto, sob estresse, ocorre a inibição da atividade da α -amilase e diminuição do teor de açúcar solúvel nas sementes (Li et al., 2023).

O milho é classificado como uma cultura moderadamente sensível à salinidade, com valor limiar de 1,1 dS m⁻¹ para a água de irrigação (Ayers; Westcor, 1999). Diversos estudos têm utilizado elevadas concentrações de cloreto de sódio (NaCl) para investigar a resposta de diferentes genótipos ao estresse salino, e observa-se que, a partir de 90 mM de NaCl, ocorre uma redução acentuada nas características morfofisiológicas da planta (Tonel et al., 2013; Barbieri et al., 2014; Catão et al., 2020; Pereira et al., 2021; Khalid et al., 2023).

Uma das formas de elevar a produtividade e obter uniformidade nas áreas de plantio é a utilização de sementes adaptadas para às condições edafoclimáticas da região. Pesquisas

acerca da adaptabilidade e estabilidade de comportamento das culturas são necessárias para a seleção das melhores cultivares, além de auxiliar na conservação e servir de suporte aos programas de melhoramento, visando ao desenvolver novos materiais resistentes (Amabile, Vilela, Peixoto, 2018; Mustamu et al., 2023).

Investigar as respostas do milho ao estresse salino é fundamental, com o intuito de se obter eficiência produtiva e buscar a sustentabilidade da produção em regiões suscetíveis à salinização. Em função disso, objetivou-se avaliar a tolerância de cultivares de milho submetidas às condições de salinidade da água durante a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análises de Sementes (LAS) pertencente ao Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró/RN, Brasil.

As sementes de cultivares de milho BRS 2022, BRS 4103, BRS Cruzeta, BRS Gorutuba, Capo 22, HTC697, HTC717, HTC795, MC 70, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801599, Sintético 91801600, Sintético 91801601, Sintético PESAGRO-RIO e UFLA-JM 100-POP AXB foram cedidas pelas Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Após o recebimento, as sementes foram armazenadas em ambiente controlado com temperatura de 16 ± 2 °C e umidade relativa em torno de 50%.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, seguindo o arranjo fatorial 20×3 , com quatro repetições de 50 sementes, sendo o primeiro fator formado pelas vinte cultivares e o segundo por três concentrações de cloreto de sódio (0; 100 e 200 mmol/L), correspondentes à condutividade elétrica (CE) de 0,11; 9,27 e 17,75 dS m⁻¹, respectivamente. Considerou-se o nível zero de concentração como testemunha, utilizando-se apenas água destilada para hidratação do substrato.

Antes da instalação do experimento, foi determinado o teor de água das sementes pelo método da estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 horas, utilizando duas repetições de 20 sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida).

Os testes de germinação, para simulação de estresse salino, foram realizados em substrato de papel toalha hidratado com volume de solução equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca (Brasil, 2009). Para cada rolo confeccionado, utilizou-se três folhas de papel toalha. Os rolos foram postos em sacos plásticos e colocados em uma câmara de germinação com temperatura constante de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 8 horas.

As avaliações foram realizadas diariamente, por meio de contagem do número de sementes germinadas até o sétimo dia após a semeadura (Brasil, 2009), sendo consideradas germinadas as sementes que apresentaram protrusão radicular a partir de 1 cm. As variáveis analisadas foram as seguintes:

a) Germinação: correspondente à porcentagem de sementes germinadas aos sete dias após a semeadura, considerando plântulas normais (Brasil, 2009).

b) Primeira contagem de germinação: realizado de forma conjunta com o teste de germinação no quarto dia após a implantação do experimento (Brasil, 2009) e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

c) Índice de velocidade de germinação (IVG): realizado juntamente com o teste de germinação, com contagens diárias do número de sementes germinadas diariamente até o sétimo dia após a instalação do teste. De posse desses dados, determinou-se o índice de velocidade de germinação, de acordo com metodologia proposta por Maguire (1962): $IVG = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots (Gn/Nn)$, em que: IVG = índice de velocidade de germinação; G1 = número de plântulas normais germinadas no primeiro dia; N1 = número de dia da semeadura.

d) Comprimento de parte aérea e de raiz primária: realizado após a finalização do teste de germinação com auxílio de uma régua graduada em centímetros, medindo-se desde a base do colo ao ápice da plântula, para o comprimento da parte aérea, e da base do colo à extremidade da raiz, para o comprimento da raiz primária das plântulas. Foram utilizadas cinco plântulas normais escolhidas de forma aleatória, e os resultados foram expressos em centímetros (cm).

e) Volume radicular: determinado pelo deslocamento de água em proveta graduada. Após a lavagem, as raízes de cinco plântulas foram colocadas em uma proveta contendo um volume conhecido de água (10 mL). Após a completa imersão das raízes, registrou-se o novo nível de água na proveta. O volume ocupado pelas raízes foi calculado pela diferença entre o volume final e o volume inicial, sendo expresso em mililitros (mL), que correspondem diretamente ao deslocamento de água provocado pela amostra.

f) Massa fresca da parte aérea e de raiz: realizada após a medição das plântulas, nas quais foram separadas a parte aérea da raiz com o auxílio de uma tesoura, e pesadas em balança de precisão (0,001g). Foram utilizadas cinco plântulas normais escolhidas de forma aleatória, e os resultados foram expressos em gramas (g);

g) Massa seca da parte aérea e de raiz: realizada após a medição das plântulas, nas quais separou-se a parte aérea da raiz com o auxílio de uma tesoura, que foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e colocadas para secar em estufa com circulação de ar forçado, regulada a 65 °C durante 72 h, sendo posteriormente pesadas em balança de precisão (0,001g).

h) Taxa de extravasamento de eletrólitos: para sua determinação, a parte aérea de cinco plântulas de cada tratamento foram separadas, pesadas e submersas em 15 ml de água destilada, em tubos de ensaio, por período de 2 horas à temperatura ambiente. Após esse período, foi medida a condutividade livre (CL: $\mu S/cm$) utilizando condutivímetro digital TEC-

4MP. Posteriormente, os mesmos tubos foram colocados em banho-maria por 90 minutos sob temperatura de 90°C e, após o resfriamento até temperatura ambiente, foi medida a condutividade total (CT: $\mu\text{S}/\text{cm}$). Os valores de condutividade foram corrigidos pela relação com o peso da amostra e depois calculada a taxa utilizando a fórmula $(\%) = \text{CL}/\text{CT} \times 100$, de acordo com adaptação da metodologia proposta por Shanahan et al. (1990).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para os níveis de estresse salino e pelo teste de Scott-Knott para as cultivares, ambos a 1% de probabilidade. A análise estatística foi realizada com auxílio do programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes de milho utilizadas nesta pesquisa tiveram teor de água médio de 11,22%, quando armazenadas em ambiente controlado com temperatura de 16 ± 2 °C e umidade relativa do ar em torno de 50%.

A interação entre cultivares de milho e estresse salino foi significativa em todas as variáveis ao nível de 1% de probabilidade, exceto para a germinação, que obteve efeito isolado para as cultivares e para a salinidade no mesmo nível de significância (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), volume radicular (VR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e extravasamento de eletrólitos (EE) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao estresse salino. Mossoró-RN, 2025.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio					
		G	PCG	IVG	CPA	CR	VR
Cultivar (C)	19	264,888**	531,415**	19,802**	18,345**	4,941**	0,00487**
Estresse salino (ES)	2	731,263**	86422,304**	264,0242**	1751,495**	1649,888**	0,376**
C x ES	38	41,666 ^{ns}	225,778**	1,464**	1,883**	4,115**	0,0018**
Erro	180	35,538	44,326	0,295	0,8101	1,214	0,00049
Coeficiente de variação		6,39	28,45	3,67	12,15	14,88	12,29
Média Geral		93,363	23,404	14,814	7,405	7,406	0,18

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		MFPA	MFR	MSPA	MSR	EE
Cultivar (C)	19	0,0287**	0,00528**	0,000244**	0,000037**	44,134**
Estresse salino (ES)	2	3,245**	0,0882**	0,0114**	0,00214**	385,117**
C x ES	38	0,00442**	0,00118**	0,00002**	0,000013**	33,283**
Erro	180	0,001	0,0003	0,00001	0,000003	4,576
Coeficiente de variação		12,57	16,41	11,94	12,76	22,39
Média Geral		0,277	0,111	0,026	0,015	9,554

**Significativo a 1%; ^{ns} não significativo a 1%; GL – grau de liberdade.

A germinação sob o nível intermediário de salinidade (100 mM) não apresentou diferença estatística em relação ao tratamento controle. O aumento da salinidade do substrato reduziu, em média, 6% a germinação das cultivares de milho sob concentração de 200 mM em comparação ao controle (Tabela 2). As cultivares obtiveram germinação acima de 80%, independentemente do nível de salinidade, com destaque para a BRS 4103, BRS Cruzeta,

BRS Gorutuba, Capo 22, MC 70, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801599 e Sintético PESAGRO-RIO. Em contrapartida, BRS 2022, Sintético 91801587 e Sintético 91801590 resultaram em menores valores de germinação (Tabela 2).

Tabela 2. Germinação (G) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao estresse salino. Mossoró-RN, 2025.

Cultivares	G (%)
BRS 2022	83 C
BRS 4103	94 A
BRS Cruzeta	98 A
BRS Gorutuba	98 A
Capo 22	98 A
HTC697	93 B
HTC717	89 B
HTC795	92 B
MC 70	97 A
PF 7008	97 A
Potiguar	97 A
Sintético 91801587	86 C
Sintético 91801590	86 C
Sintético 91801592	97 A
Sintético 91801596	98 A
Sintético 91801599	96 A
Sintético 91801600	92 B
Sintético 91801601	91 B
Sintético PESAGRO-RIO	97 A
UFLA JM100 POP AXB	90 B
Estresse salino	G (%)
0 mM	96 a
100 mM	95 a
200 mM	90 b

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas para o tratamento cultivares e minúsculas para estresse salino não diferem entre si pelos testes de Scott-Knott e Tukey ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente.

Para a variável primeira contagem de germinação (PCG) (Tabela 3), verificou-se redução significativa em todas as cultivares com o aumento do estresse salino, com germinação nula na maioria das cultivares sob 200 mM. Em condições de salinidade de 100 mM, as cultivares PF 7008, BRS Gorutuba, MC 70, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar obtiveram maiores percentuais de germinação, variando entre 15% e 24%. De maneira geral, o aumento da concentração salina resultou em diminuição média de 85% e 100% na primeira

contagem de germinação das cultivares de milho sob os níveis de 100 mM e 200 mM, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Médias de primeira contagem de germinação (PCG) e índice de velocidade de germinação (IVG) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao estresse salino. Mossoró-RN, 2025.

Cultivares	PCG (%)			IVG		
	0 mM	100 mM	200 mM	0 mM	100 mM	200 mM
BRS 2022	69 aB	5 bC	0 bA	16,65 aC	13,60 bC	11,68 cD
BRS 4103	50 aC	1 bC	0 bA	16,04 aC	13,95 bC	13,25 bB
BRS Cruzeta	72 aB	15 bB	1 cA	16,88 aB	15,98 aA	14,30 bA
BRS Gorutuba	84 aA	24 bA	0 cA	18,13 aA	16,31 bA	14,78 cA
Capo 22	74 aB	27 bA	1 cA	17,02 aB	16,56 aA	14,58 bA
HTC697	65 aB	5 bC	0 bA	17,56 aA	14,90 bB	12,79 cC
HTC717	54 aC	2 bC	0 bA	15,47 aD	12,97 bD	10,87 cE
HTC795	36 aD	3 bC	0 bA	16,98 aB	13,92 bC	11,83 cD
MC 70	62 aB	19 bB	0 cA	16,44 aC	15,95 aA	13,69 bB
PF 7008	68 aB	17 bB	0 cA	18,15 aA	16,69 bA	13,36 cB
Potiguar	83 aA	17 bB	1 cA	16,98 aB	15,84 bA	14,33 cA
Sintético 91801587	46 aD	2 bC	0 bA	13,41 aE	12,03 bE	10,64 cE
Sintético 91801590	50 aC	4 bC	0 bA	13,59 aE	11,88 bE	10,40 cE
Sintético 91801592	44 aD	7 bC	0 bA	16,35 aC	15,86 aA	13,34 bB
Sintético 91801596	62 aB	11 bC	0 cA	17,19 aB	16,38 aA	14,68 bA
Sintético 91801599	56 aC	6 bC	0 bA	16,42 aC	15,88 aA	13,51 bB
Sintético 91801600	48 aC	4 bC	0 bA	16,27 aC	14,87 bB	12,77 cC
Sintético 91801601	54 aC	5 bC	0 bA	15,54 aD	14,34 bC	12,20 cD
Sintético PESAGRO-RIO	80 aA	10 bC	0 cA	18,33 aA	15,92 bA	13,04 cC
UFLA JM100 POP AXB	67 aB	2 bC	0 bA	17,65 aA	15,46 bB	12,53 cC

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna dentro de cada variável não diferem entre si pelos testes Tukey e Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente.

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi reduzido para todas as cultivares à medida que o estresse salino se intensificou (Tabela 3). No nível de 100 mM de cloreto de sódio, as cultivares BRS Cruzeta, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801599, MC 70 e Capo 22 obtiveram valores semelhantes aos do tratamento controle. Além dessas, as cultivares BRS Gorutuba, PF 7008, Potiguar e Sintético PESAGRO-RIO também se destacaram, apresentando os maiores valores de IVG nesse nível de salinidade, com média de aproximadamente 16,19 e redução em torno de 6% em relação ao controle (Tabela 3).

Ao comparar a média de IVG das cultivares sob o maior nível de estresse (200 mM) com o tratamento controle, constatou-se que as cultivares BRS Gorutuba, Sintético 91801596, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar tiveram os melhores índices. Em contrapartida, as cultivares BRS 2022, HTC717, HTC795, Sintético 91801587, Sintético 91801590 e Sintético 91801601 obtiveram os menores valores de IVG (Tabela 3).

A redução na primeira contagem e no índice de velocidade de germinação reforça que, embora as sementes mantenham a capacidade de germinar em ambientes salinizados, o processo germinativo ocorre de forma mais lenta e desuniforme. A salinidade ocasiona a redução da absorção de água pelas sementes e o desequilíbrio da homeostase iônica (Nawaz et al., 2023). Esse ambiente desfavorável dificulta a mobilização das reservas nutricionais necessárias para a germinação, resultando no retardamento do processo (Khalid et al., 2023).

Semelhante a este estudo, Sommer et al. (2024) avaliando vigor e mobilização de reservas das sementes sob estresse salino, verificaram que não houve redução na germinação, mas sim redução da velocidade com que este processo ocorre. Os autores mencionam que as sementes de alto vigor tiveram capacidade de hidrólise, principalmente pela α -amilase, e utilização de reservas mais rápida sob condições de estresse. A diminuição na atividade da α -amilase resulta em redução na translocação de açúcares, essenciais para o desenvolvimento do embrião (Uçarli, 2020).

A salinidade reduziu significativamente ($p>0,01$) o crescimento da parte aérea (CPA), o comprimento da raiz (CR) e o volume radicular (VR) das cultivares de milho, impactando seu desenvolvimento (Tabela 4). A interação entre cultivares e níveis de salinidade indica variações genéticas na tolerância ao estresse salino. Na ausência de estresse, as cultivares Capo 22, MC 70, Potiguar, Sintético 91801599, Sintético 91801600 e Sintético 91801601 tiveram os maiores valores de CPA. Sob 100 mM de NaCl, as cultivares PF 7008, Potiguar, BRS Cruzeta e Sintético 91801599 mantiveram os maiores valores. Em contrapartida, HTC717, HTC795 e Sintético 91801590 resultaram em reduções mais acentuadas.

Tabela 4. Médias de comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR) e volume radicular (VR) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao estresse salino. Mossoró-RN, 2025.

Cultivares	CPA (cm)			CR (cm)			VR (ml)		
	0 mM	100 mM	200 mM	0 mM	100 mM	200 mM	0 mM	100 mM	200 mM
BRS 2022	10,88 aC	6,08 bB	2,85 cB	13,55 aB	5,60 bA	3,33 cA	0,258 aB	0,165 bB	0,103 cB
BRS 4103	11,05 aC	5,95 bB	2,50 cB	10,95 aC	6,90 bA	3,78 cA	0,293 aA	0,205 bA	0,135 cA
BRS Cruzeta	12,90 aB	8,08 bA	3,98 cA	14,03 aB	6,50 bA	3,70 cA	0,315 aA	0,198 bA	0,123 cA
BRS Gorutuba	12,93 aB	7,80 bA	3,28 cA	11,00 aC	6,75 bA	3,53 cA	0,275 aB	0,200 bA	0,110 cB
Capo 22	14,98 aA	7,65 bA	3,55 cA	13,35 aB	6,40 bA	4,05 cA	0,258 aB	0,173 bA	0,118 cA
HTC697	12,58 aB	7,08 bA	3,13 cA	11,38 aC	6,08 bA	3,43 cA	0,265 aB	0,175 bA	0,130 cA
HTC717	9,53 aC	5,10 bC	1,90 cC	11,48 aC	5,48 bA	3,03 cA	0,265 aB	0,178 bA	0,118 cA
HTC795	10,48 aC	4,88 bC	1,80 cC	11,25 aC	6,23 bA	3,50 cA	0,300 aA	0,178 bA	0,123 cA
MC 70	14,10 aA	6,93 bA	4,15 cA	12,93 aB	6,08 bA	4,23 cA	0,223 aC	0,148 bB	0,133 bA
PF 7008	13,20 aB	8,10 bA	3,80 cA	10,68 aC	7,52 bA	3,15 cA	0,188 aD	0,185 aA	0,118 bA
Potiguar	14,70 aA	8,10 bA	3,85 cA	16,53 aA	6,45 bA	4,00 cA	0,285 aA	0,198 bA	0,120 cA
Sintético 91801587	10,08 aC	5,45 bB	1,53 cC	12,03 aC	5,73 bA	2,80 cA	0,265 aB	0,155 bB	0,095 cB
Sintético 91801590	10,58 aC	4,30 bC	1,65 cC	12,10 aC	4,88 bA	3,43 bA	0,300 aA	0,160 bB	0,103 cB
Sintético 91801592	10,28 aC	5,85 bB	2,98 cB	11,00 aC	6,75 bA	3,68 cA	0,188 aD	0,153 aB	0,100 bB
Sintético 91801596	11,03 aC	6,85 bA	2,65 cB	10,50 aC	6,35 bA	3,10 cA	0,198 aD	0,140 bB	0,095 cB
Sintético 91801599	15,08 aA	8,08 bA	4,40 cA	13,85 aB	5,50 bA	4,38 bA	0,230 aC	0,165 bB	0,128 cA
Sintético 91801600	14,80 aA	7,30 bA	3,65 cA	15,38 aA	5,93 bA	3,88 cA	0,210 aC	0,155 bB	0,110 cB
Sintético 91801601	14,28 aA	7,20 bA	4,23 cA	12,75 aB	5,78 bA	4,38 bA	0,228 aC	0,140 bB	0,130 bA
Sintético PESAGRO-RIO	12,70 aB	7,20 bA	3,28 cA	11,15 aC	5,85 bA	3,00 cA	0,233 aC	0,153 bB	0,093 cB
UFLA JM100 POP AXB	11,60 aC	6,68 bA	2,88 cB	12,78 aB	7,08 bA	3,60 cA	0,268 aB	0,203 bA	0,133 cA

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna dentro de cada variável não diferem entre si pelos testes Tukey e Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente.

No nível salino de 200 mM, houve redução média de 75% no comprimento da parte aérea, destacando-se HTC717, HTC795, Sintético 91801590 e Sintético 91801587 com os menores valores. As cultivares BRS Cruzeta, Capo 22, MC 70, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801599, Sintético 91801600 e Sintético 91801601 tiveram maiores valores (Tabela 4). A elevação do potencial osmótico no meio de cultivo restringe o alongamento celular, limitando o crescimento das plantas conforme constatado por Pereira et al. (2024) nas cultivares de milho BRS 2022 e Potiguar submetidas à água de alta salinidade (7,0 dS m⁻¹).

A diminuição no crescimento pode ser atribuída à desnaturação de proteínas e à desestabilização de membranas celulares, em decorrência da redução da hidratação dessas macromoléculas, ocasionada pelas altas concentrações de sais promovem (Sarkar; Sadhukhan, 2022). Além disso, o ambiente salino eleva a pressão osmótica na interface raiz-solo devido

ao aumento da concentração de sais solúveis na solução, dificultando a absorção de água e nutrientes (Lacerda et al., 2022).

Em relação ao comprimento da raiz (CR), ainda na tabela 4, as cultivares Potiguar, Sintético 91801600 e Sintético 91801599 apresentaram as maiores médias na ausência de estresse. Entretanto, o aumento da salinidade provocou encurtamento expressivo das raízes, com redução média de 49% no nível de 100 mM de NaCl e 71% sob 200 mM de NaCl. Resultados semelhantes foram verificados por Wang et al. (2024), com redução de 60% no comprimento da radícula de uma linhagem endogâmica de milho B73, quando exposta a 150 mM de NaCl. Essa redução drástica no crescimento radicular limita a capacidade das plantas de explorar o solo em busca de água e nutrientes, comprometendo sua adaptação a ambientes salinos (Valenzuela et al., 2022).

O volume radicular das plântulas (VR) sofreu declínio com o aumento da salinidade, porém algumas cultivares foram menos impactadas (Tabela 4). A cultivar PF 7008 se mostrou resistente à salinidade de 100 mM de NaCl, ocorrendo redução de apenas 2% quando comparada ao controle. Outras cultivares que mereceram destaque foram BRS 4103, BRS Gorutuba BRS Cruzeta, Potiguar e UFLA JM100 POP AXB. Por outro lado, as cultivares Sintético 91801587 e Sintético 91801590 foram severamente afetadas pelos sais quando expostas a condições crescentes de salinidade, revelando declínio médio no VR de 44% na condição sob 100 mM e 65% sob a mais alta salinidade (200 mM).

A avaliação da salinidade nas variáveis CPA, CR e VR apresentaram comportamento unânime, exceto para a cultivar PF 7008 que quando testada a 100 mM, se igualou ao controle. As demais observações apresentaram uma tendência: redução significativa das variáveis testadas com o incremento da salinidade. Ghosh et al. (2025) atribuíram esse comportamento a dois principais mecanismos fisiológicos: o estresse osmótico e a toxicidade iônica. Irik e Bikmaz (2024) complementaram, acrescentando que a elevação da concentração de sais no ambiente aumenta a pressão osmótica ao redor das raízes, dificultando a absorção de água pela planta e interfere diretamente em processos como a divisão e a diferenciação celular, justificando, nesse estudo, a redução expressiva das variáveis sob condição de estresse salino.

Além do estresse osmótico, Choudhary et al. (2022) justificaram possíveis reduções no desenvolvimento vegetal com a toxicidade iônica resultante do acúmulo excessivo de íons como sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) nos tecidos vegetais e consequente redução na disponibilidade de nutrientes essenciais. Dessa forma, os resultados observados evidenciam a

difficuldade de absorção de água e crescimento das plântulas de milho sob condições de salinidade.

A análise de massa fresca da parte aérea (MFPA) revelou diminuição à medida que o nível de salinidade aumentou, para todas as cultivares (Tabela 5). Sem estresse (0 mM) destacaram-se as cultivares Capo 22, BRS Gortuba e PF 7008. No nível intermediário (100 mM), PF 7008, BRS Gortuba, Capo 22, BRS Cruzeta e Potiguar mantiveram valores relativamente elevados, já as cultivares HTC795, Sintético 91801587 e Sintético 91801590 tiveram as maiores reduções, em torno de 60%, em comparação ao controle. Sob alta salinidade (200 mM), constatou-se queda acentuada da MFPA em todas as cultivares com redução média de 80% em relação ao controle.

Tabela 5. Médias de massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao estresse salino. Mossoró-RN, 2025.

Cultivares	MFPA (g/plântula)			MFR (g/plântula)		
	0 mM	100 mM	200 mM	0 mM	100 mM	200 mM
BRS 2022	0,478 aC	0,225 bC	0,088 cB	0,171 aC	0,134 bA	0,092 cA
BRS 4103	0,462 aD	0,207 bC	0,084 cB	0,145 aC	0,117 abA	0,113 bA
BRS Cruzeta	0,549 aB	0,286 bA	0,121 cA	0,117 aD	0,108 aB	0,088 aA
BRS Gortuba	0,610 aA	0,306 bA	0,114 cA	0,183 aB	0,127 bA	0,072 cB
Capo 22	0,627 aA	0,318 bA	0,123 cA	0,092 aE	0,089 aB	0,070 aB
HTC697	0,524 aC	0,250 bB	0,101 cA	0,213 aA	0,120 bA	0,092 bA
HTC717	0,387 aE	0,196 bC	0,066 cB	0,150 aC	0,123 aA	0,080 bA
HTC795	0,491 aC	0,174 bD	0,065 cB	0,187 aB	0,119 bA	0,083 cA
MC 70	0,568 aB	0,246 bB	0,130 cA	0,159 aC	0,113 bA	0,102 bA
PF 7008	0,600 aA	0,301 bA	0,127 cA	0,190 aB	0,147 bA	0,087 cA
Potiguar	0,564 aB	0,300 bA	0,111 cA	0,120 aD	0,096 aB	0,056 bB
Sintético 91801587	0,380 aE	0,174 bD	0,060 cB	0,147 aC	0,095 bB	0,060 cB
Sintético 91801590	0,379 aE	0,152 bD	0,052 cB	0,111 aD	0,106 aB	0,074 bB
Sintético 91801592	0,390 aE	0,191 bC	0,096 cA	0,093 aE	0,079 aB	0,065 aB
Sintético 91801596	0,374 aE	0,201 bC	0,083 cB	0,094 aE	0,076 abB	0,052 bB
Sintético 91801599	0,528 aC	0,268 bB	0,130 cA	0,178 aB	0,123 bA	0,081 cA
Sintético 91801600	0,497 aC	0,217 bC	0,103 cA	0,141 aC	0,091 bB	0,064 bB
Sintético 91801601	0,499 aC	0,231 bC	0,118 cA	0,113 aD	0,092 aB	0,088 aA
Sintético PESAGRO-RIO	0,515 aC	0,251 bB	0,103 cA	0,136 aD	0,101 bB	0,068 cB
UFLA JM100 POP AXB	0,486 aC	0,247 bB	0,097 cA	0,167 aC	0,138 aA	0,091 bA

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna dentro de cada variável não diferem entre si pelos testes Tukey e Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente.

No que se refere à massa fresca de raízes (MFR), houve comportamento semelhante de redução com o aumento da salinidade, contudo, algumas cultivares, como BRS 4103, BRS

Cruzeta, Capo 22, HTC 717, Potiguar, Sintético 91801590, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801601 e UFLA JM100 POP AXB, não tiveram diferença estatística entre o nível de 100 mM e o controle (Tabela 5). No nível mais severo (200 mM), as cultivares MC 70 e BRS 4103 se destacaram com os maiores valores de MFR, mesmo não diferindo de outras. Já as cultivares Sintético 91801587, Sintético 91801596 e Potiguar, resultaram em forte declínio, apontando para a limitação no acúmulo de biomassa fresca radicular.

De maneira geral, é possível notar redução tanto na MFPA quanto na MFR à medida que os níveis de salinidade aumentaram (Tabela 5). Isso evidencia o impacto negativo do estresse salino sobre o crescimento das plantas, refletindo a sensibilidade de muitas cultivares ao excesso de sal. Sob estresse, a planta direciona sua energia para o transporte ativo de solutos, sua distribuição intracelular e a compatibilização de compostos orgânicos. Com isso, há menor disponibilidade energética para o crescimento, biossíntese e absorção e compartimentação de íons minerais. (Amiri; Banakar; Hemmati Hassan Gavyar, 2024).

Os resultados desta pesquisa estão de acordo com os trabalhos anteriores, que demonstram padrões consistentes de diminuição dos índices de crescimento e biomassa fresca com o aumento da exposição à salinidade, principalmente durante longos períodos de tempo (D'amato, Del Buono, 2021; Aizaz et al., 2024; Vennam et al., 2024). Ao avaliar o efeito dos sais de sódio no crescimento das plantas e nos atributos de qualidade de sementes de milho, Javed et al. (2022) relataram que os efeitos tóxicos da salinidade nos tecidos resultaram em aumento na razão Na:K e redução no rendimento na altura da planta, biomassa, diâmetro do broto e comprimento da raiz, com o aumento na salinidade em relação ao controle, principalmente no nível mais extremo (16 dS m⁻¹).

Pesquisas anteriores detectaram que o estresse salino diminui o desenvolvimento e o crescimento de vários outros cereais, incluindo trigo (Duan et al., 2024; Shahzadi et al., 2024), arroz (Xu et al., 2024; Stefanello et al., 2025) e sorgo (Ahmed et al., 2024; Kang et al., 2024). A salinidade influencia negativamente a absorção de nutrientes e água pelas plantas e promove o acúmulo de íons tóxicos, sendo necessário manter a homeostase iônica celular adequada para o crescimento, desenvolvimento e sobrevivência da planta (Nurbekova et al., 2024).

Para a massa seca da parte aérea (MSPA), houve diferença significativa entre os níveis de estresse salino para todas as cultivares estudadas, com redução média de 33% para o nível de 100 mM e 62% sob 200 mM, quando comparados ao controle (Tabela 6). Destacaram-se as cultivares BRS Cruzeta, BRS Gorutuba, Capo 22, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801599,

Sintético PESAGRO-RIO e UFLA JM100 POP AXB com maiores médias para os dois níveis de estresse. As maiores reduções no MSPA, no maior nível de estresse salino de 200 mM em relação ao controle, foram constatadas para as cultivares HTC717, HTC795, Sintético 91801587 e Sintético 91801590, variando de 67 a 74%.

Tabela 6. Médias de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e extravasamento de eletrólitos (EE) de cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao estresse salino. Mossoró-RN, 2025.

Cultivares	MSPA (g)			MSR (g)			EE (%)		
	0mM	100mM	200mM	0mM	100mM	200mM	0mM	100mM	200mM
BRS 2022	0,036 aB	0,025 bC	0,014 cA	0,020 aB	0,013 bB	0,011 bA	7 aC	8 aC	11 aD
BRS 4103	0,036 aB	0,024 bC	0,013 cB	0,018 aC	0,014 bB	0,014 bA	11 aB	10 aB	14 aC
BRS Cruzeta	0,043 aA	0,032 bA	0,017 cA	0,022 aB	0,016 bA	0,012 cA	10 aC	4 bD	9 aE
BRS Gorutuba	0,048 aA	0,035 bA	0,018 cA	0,022 aB	0,018 bA	0,011 cA	14 aA	17 aA	9 bE
Capo 22	0,047 aA	0,034 bA	0,018 cA	0,020 aC	0,013 bB	0,011 bA	7 bC	10 bB	15 aC
HTC697	0,037 aB	0,026 bC	0,015 cA	0,022 aB	0,012 bB	0,011 bA	7 bC	8 bC	16 aC
HTC717	0,030 aC	0,022 bC	0,010 cB	0,018 aC	0,012 bB	0,010 bB	7 cC	10 bB	18 aB
HTC795	0,038 aB	0,020 bD	0,010 cB	0,023 aB	0,013 bB	0,011 bA	7 aC	9 aB	10 aE
MC 70	0,043 aA	0,026 bC	0,018 cA	0,021 aB	0,013 bB	0,013 bA	5 bC	5 bD	9 aE
PF 7008	0,046 aA	0,031 bB	0,018 cA	0,020 aB	0,016 bA	0,011 cA	8 aC	7 aD	10 aA
Potiguar	0,046 aA	0,034 bA	0,017 cA	0,028 aA	0,015 bA	0,010 cB	7 bC	6 bD	12 aD
Sintético 91801587	0,030 aC	0,020 bD	0,009 cB	0,020 aB	0,012 bB	0,008 cB	6 bC	8 abC	12 aD
Sintético 91801590	0,032 aC	0,018 bD	0,009 cB	0,022 aB	0,011 bB	0,009 bB	9 bC	11 bC	15 aC
Sintético 91801592	0,031 aC	0,021 bD	0,014 cA	0,016 aD	0,013 bB	0,010 bB	9 abC	6 bD	11 aD
Sintético 91801596	0,030 aC	0,019 bD	0,012 cB	0,015 aD	0,011 bB	0,008 bB	8 bC	8 bC	14 aC
Sintético 91801599	0,039 aB	0,028 bB	0,018 cA	0,022 aB	0,013 bB	0,010 cB	8 bC	11 abB	13 aD
Sintético 91801600	0,039 aB	0,023 bC	0,015 cA	0,019 aC	0,011 bB	0,009 bB	7 aC	6 aD	8 aE
Sintético 91801601	0,039 aB	0,025 bC	0,016 cA	0,018 aC	0,010 bB	0,010 bB	8 aC	8 aC	9 aE
Sintético PESAGRO-RIO	0,040 aB	0,028 bB	0,016 cA	0,017 aD	0,012 bB	0,009 cB	15 aA	5 cD	9 bE
UFLA JM100 POP AXB	0,038 aB	0,027 bB	0,015 cA	0,024 aB	0,015 bA	0,012 bA	7 bC	10 bB	22 aA

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna dentro de cada variável não diferem entre si pelos testes Tukey e Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente.

Em relação à massa seca da raiz (MSR), no nível moderado de salinidade (100 mM), as maiores médias foram verificadas para as cultivares BRS Gorutuba, BRS Cruzeta, PF 7008, Potiguar e UFLA JM100 POP AXB, variando de 0,015 a 0,018 g/plântula. Ao nível de 200 mM de NaCl, os menores valores de massa seca de raiz foram constatados para HTC717, Potiguar, Sintético 91801587, Sintético 91801590, Sintético 91801592, Sintético 91801596, Sintético 91801599, Sintético 91801600, Sintético 91801601 e Sintético PESAGRO-RIO.

Estudo recente demonstrou que a exposição das sementes de milho ao estresse salino extremo (250 mM de NaCl) comprometeu significativamente a germinação e o acúmulo de biomassa das plântulas, resultando em redução de 64 a 79% na massa seca da parte aérea e de 61 a 69% na massa seca das raízes nas cultivares BRS 5037 Cruzeta e BR 206 (Pereira et al., 2023). Segundo esses autores, a desidratação induzida pela salinidade provoca danos às membranas lipídicas, levando as sementes a direcionarem seu metabolismo principalmente para a reparação dessas estruturas, em detrimento do desenvolvimento inicial.

Em síntese, a redução na MSPA e na MSR com o aumento da salinidade está relacionado aos danos causados principalmente pela redução do potencial hídrico do meio e aumento do conteúdo intracelular dos íons tóxicos Na^+ e Cl^- (Zhou et al., 2024). Assim, a capacidade de algumas cultivares de milho para tolerar níveis moderados de salinidade pode ser atribuída a mecanismos fisiológicos como a regulação da absorção desses íons pelas raízes e a manutenção da homeostase de nutrientes essenciais, como K^+ e Ca^{2+} , aumentando a proporção K^+/Na^+ (Islam et al., 2024).

A avaliação do extravasamento de eletrólitos (EE) revelou diferenças significativas entre as cultivares de milho submetidas ao estresse salino, evidenciando crescente aumento de EE à medida que se intensificaram os níveis de salinidade (Tabela 6). Esse comportamento está diretamente relacionado à integridade da membrana plasmática, uma vez que sua ruptura resulta em maior permeabilidade e, consequentemente, em maior vazamento de íons (Queiroz et al., 2023). Altas concentrações de sal comprometem o equilíbrio do movimento iônico nas células, facilitando vazamento de eletrólitos como potássio, magnésio e cálcio (Pai; Sharma, 2024).

Dentre as cultivares analisadas, a cultivar UFLA JM100 POP AXB apresentou o maior extravasamento de eletrólitos sob alta salinidade (200 mM), atingindo 22%, seguida da cultivar HTC717 com 18%. Esses valores são significativamente superiores aos obtidos para as demais cultivares. Algumas cultivares obtiveram estabilidade relativa no EE mesmo com o aumento da concentração salina, não diferindo significativamente entre os níveis de estresse. Nesse caso, foram a BRS 2022, BRS 4103, HTC795, PF 7008, Sintético 91801600 e Sintético 91801601. Destaca-se também a BRS Cruzeta, a BRS Gorutuba, a MC 70 e o Sintético PESAGRO-RIO que, juntamente com as cultivares mencionadas anteriormente, mantiveram valores estáveis, mesmo sob estresse salino severo (200 mM).

O aumento do extravasamento de eletrólitos em alguns materiais avaliados está associado ao estresse osmótico e à lesão iônica na membrana plasmática celular devido à salinidade (Arif et al., 2020). No entanto, a estabilidade observada em outras pode estar

associada a mecanismos adaptativos, como alterações na composição lipídica das membranas (Su et al., 2025), ativação de rotas de sinalização mediadas pelo influxo de Ca^{2+} (Jiang et al., 2019) e atuação da via SOS na manutenção da homeostase iônica (Su et al., 2025).

Em estudo conduzido por Khan et al. (2024), foi verificado que a exposição de plantas de milho a 200 mM de NaCl resultou em aumento no vazamento de eletrólitos, com variações entre as 20 cultivares avaliadas. Algumas apresentaram elevações significativas, atingindo até 190% em relação ao controle, enquanto outras mostraram menores aumentos, em torno de 17%. A estabilidade da membrana e as relações hídricas da planta estão diretamente associadas ao potencial hídrico e à toxicidade iônica, sendo considerados indicadores-chave do desempenho vegetal sob diferentes condições de estresse abiótico (Ali et al., 2021).

Com base nos dados analisados, as cultivares BRS Gorutuba, BRS Cruzeta e Potiguar resultaram em desempenho superior em comparação às demais. Essas cultivares foram desenvolvidas com foco na adaptação às condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, sendo amplamente utilizadas na região (Pacheco, 2016; Melo et al., 2018). A tolerância ao estresse abiótico está associada à ativação de múltiplos genes relacionados à síntese de metabólitos e proteínas de resposta ao estresse, incluindo osmólitos, componentes do sistema antioxidante e o ácido abscísico, cuja produção é intensificada sob condições adversas (Khalid et al., 2023).

Este estudo evidencia a variabilidade existente entre as cultivares de milho quanto à resposta ao estresse salino, possibilitando a seleção de genótipos com maior tolerância inicial em ambientes sujeitos à salinização do solo e da água. Contudo, é necessária a realização de novas pesquisas visando compreender como esses materiais se comportam em outros estágios de desenvolvimento, com outras condições ambientais ou ainda a partir da interação de vários fatores abióticos de estresse.

4 CONCLUSÕES

As cultivares BRS Cruzeta, BRS Gorutuba, Capo 22, MC 70, PF 7008, Potiguar, Sintético 91801592, Sintético 91801599 e Sintético PESAGRO-RIO apresentaram maior tolerância ao estresse salino aos níveis de 100 mM e 200 mM de NaCl.

As cultivares HTC717, HTC795, Sintético 91801587, Sintético 91801590 e Sintético 91801601 apresentaram os menores desempenhos nas fases iniciais de desenvolvimento sob a condição de salinidade mais elevada (200 mM de NaCl).

REFERÊNCIAS

- AHMED, A. M. et al. Seed germination and early seedling growth of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes under salinity stress. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 33, n. 3, 2024. DOI: 10.15244/pjoes/177180
- AIZAZ, M. et al. Insights into physiological and biochemical responses of *Zea mays* L. under salinity stress. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 36, p. 1-13, 2024. doi: 10.3897/ejfa.2024.127665
- ALI, M. et al. Silicon mediated improvement in the growth and ion homeostasis by decreasing Na⁺ uptake in maize (*Zea mays* L.) cultivars exposed to salinity stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 208-218, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.10.040>
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília, DF: Proimpress; Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1106825> Acesso em: 18 abril 2024.
- AMIRI, H.; BANAKAR, M. H.; HEMMATI HASSAN GAVYAR, P. Polyamines: New plant growth regulators promoting salt stress tolerance in plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 43, p. 4923–4940, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11447-z>
- ARIF, Y. et al. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 64-77, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- AYERS, R. S. WESTCOT. D. W. **A qualidade de água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, p. 1-53, 1999.
- BARBIERI, A. P. P. et al. Tratamento de sementes de milho sobre o desempenho de plântulas em condições de estresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 305-311, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.ao1381>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- CATÃO, H. C. R. M. et al. Antioxidant activity and physiological performance of popcorn seed after saline stress and analysis of seedling images. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e005020, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044005020>
- CHOUDHARY, M. et al. Plant growth-promoting microbes: Role and prospective in amelioration of salt stress. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 13, p. 1692-1711, 2022. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2063316>
- D'AMATO, R.; DEL BUONO, D. Use of a biostimulant to mitigate salt stress in maize plants. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1755, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091755>
- DUAN, S. et al. Effects of biochar types on seed germination, growth, chlorophyll contents, grain yield, sodium, and potassium uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 1, p. 487, 2024. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05188-0>

GHOSH, T. et al. Hormonal signaling at seed germination and seedling stage of plants under salinity stress. **Plant Growth Regulation**, v. 105, p. 583–600, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10725-025-01305-7>

GUO, L. et al. Integrated physiological, biochemical and transcriptomic analyses reveal the mechanism of salt tolerance induced by a halotolerant *Serratia* sp. NTN6 in maize. **Environmental and Experimental Botany**, v. 221, p. 105724, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105724>

IBGE. **Produção Agrícola Municipal - PAM**| IBGE. 2023.Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados> Acesso em: 16 fevereiro 2025.

IRIK, H. A.; BIKMAZ, G. Effect of different salinity on seed germination, growth parameters and biochemical contents of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds cultivars. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 6929, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55325-w>

ISLAM, A. T. M. T. et al. Effect of salicylic acid seed priming on morpho-physiological responses and yield of baby corn under salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 304, p. 111304, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111304>

ISLAM, M. et al. Salinity stress in maize: consequences, tolerance mechanisms, and management strategies. **OBM Genetics**, v. 8, n. 2, 2024. doi:10.21926/obm.genet.2402232

JAVED, S. A. et al. Interactive effect of different salinity sources and their formulations on plant growth, ionic homeostasis and seed quality of maize. **Chemosphere**, v. 291, p. 132678, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132678>

JIANG, Z. et al. Plant cell-surface GIPC sphingolipids sense salt to trigger Ca²⁺ influx. **Nature**, v. 572, n. 7769, p. 341-346, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1449-z>

KANG, J. et al. Comparative physiological and gene expression analyses provide insights into ion transports and osmotic adjustment of sweet sorghum under salt stress. **Agronomy**, v. 14, n. 8, p. 1849, 2024. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081849>

KHALID, N. et al. Combination effect of temperature and salinity stress on germination of different maize (*Zea mays* L.) varieties. **Agriculture**, v. 13, n. 10, p. 1932, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101932>

KHALID, N. et al. Combination effect of temperature and salinity stress on germination of different maize (*Zea mays* L.) varieties. **Agriculture**, v. 13, n. 10, p. 1932, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101932>

KHAN, R. et al. Evaluation of maize varieties via multivariate analysis: Roles of ionome, antioxidants, and autophagy in salt tolerance. **Plant Physiology**, v. 196, n. 1, p. 195-209, 2024. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiae335>

LACERDA, F. H. D. et al. Physiology and growth of maize under salinity of water and application of hydrogen peroxide. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 771-779, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p771-779>

LI, H. et al. Exogenous ethylene promotes the germination of cotton seeds under salt stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, n. 6, p. 3923-3933, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10859-z>

LIMA, B. R. de et al. Uso e qualidade de água subterrânea utilizada por agricultores familiares no Território Sertão Produtivo, Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 16, p. 679-689, 2020. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071615](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071615)

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

MELO, R. F. et al. Desenvolvimento e produtividade do milho BRS Gorutuba sob diferentes lâminas de irrigação e adubação orgânica. **Revista Científica Intelletto**, v. 3, n. 1, p. 1-14 2018. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1093147> Acesso em: 02 de junho de 2025

MUSTAMU, N. E. et al. Drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) in local maize at the early seedling stage. **Heliyon**, v. 9, n. 9, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20209>

NAWAZ, M. S. et al. Impact of salt stress on cotton. **International Journal of Agriculture and Biosciences**, v. 12, n. 2, p. 98-103, 2023. <https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2023.051>

NURBEKOVA, Z. et al. Strategies for achieving high and sustainable plant productivity in saline soil conditions. **Horticulturae**, v. 10, n. 8, p. 878, 2024. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080878>

PACHECO, E. P. **Sistema de produção de milho para zona da mata e agreste nordestinos**. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Sistema de Produção, 5), Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. Disponível: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1076514> Acesso em: 29 de maio de 2025

PAI, R., SHARMA, P. K. Exogenous supplementation of salicylic acid ameliorates salt-induced membrane leakage, ion homeostasis and oxidative damage in Sorghum seedlings. **Biologia**, v. 79, p. 23–43, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01554-9>

PEREIRA, K. T. O. et al. Discontinuous hydration cycles with elicitors improve germination, growth, osmoprotectant, and salt stress tolerance in Zea mays L. **Agriculture**, v. 13, n. 5, p. 964, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050964>

PEREIRA, K. T. O. et al. Exogenous application of organic acids in maize seedlings under salt stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e250727, 2021. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.250727>

PEREIRA, K. T. O. et al. Exogenous application of organic acids in maize seedlings under salt stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e250727, 2024. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.250727>

QUEIROZ, G. C. M. et al. Growth, solute accumulation, and ion distribution in sweet sorghum under salt and drought stresses in a Brazilian potiguar semiarid area. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 803, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040803>

- SARKAR, A. K.; SADHUKHAN, S. Imperative role of trehalose metabolism and trehalose 6 phosphate signaling on salt stress responses in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 174, n. 1, p. e13647, 2022. <https://doi.org/10.1111/ppl.13647>
- SHAHZADI, A. et al. Effects of biochar on growth and yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 20024, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70917-2>
- SHAN, L. et al. Effects of salicylic acid on growth, physiology, and gene expression in rice seedlings under salt and drought stress. **Plant Stress**, p. 100413, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100413>
- SHANAHAN J. F. et al. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. **Crop Science**, 30: 247–251, 1990.
- SOMMER, Â. S. et al. Hydrolytic enzyme activity (phytase and α -amylase) is decisive in the germination metabolism of maize seeds under salt stress. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 48, p. e003224, 2024. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202448003224>
- STEFANELLO, R. et al. Conditioning rice seeds with chitosan to mitigate salt stress. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A**, v. 88, n. 7, p. 279-290, 2025. <https://doi.org/10.1080/15287394.2024.2434656>
- SU, X. et al. Mechanisms for cell survival during abiotic stress: focusing on plasma membrane. **Stress Biology**, v. 5, n. 1, p. 1, 2025. <https://doi.org/10.1007/s44154-024-00195-5>
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 6ª ed., 2017.
- TONEL, F. R. et al. Salicylic acid: physiological and biochemical changes in seeds and maize seedlings subjected to salt stress. **Journal of Seed Science**, v. 35, p. 457-465, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/cRYj8v6Ws3R44mMXFnFFycf/?lang=en> Acesso em: 20 de maio de 2024
- UÇARLI, C. Effects of salinity on seed germination and early seedling stage. In: Abiotic stress in plants. **IntechOpen**, p. 211, 2020. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91549>
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>. Acesso em: 16 abril 2024.
- VALENZUELA, F. J. et al. Plant responses to heterogeneous salinity: agronomic relevance and research priorities. **Annals of Botany**, v. 129, n. 5, p. 499-518, 2022. <https://doi.org/10.1093/aob/mcac022>
- VENNAM, R. R. et al. Early-season maize responses to salt stress: Morpho-physiological, leaf reflectance, and mineral composition. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 15, p. 100994, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100994>
- VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.11-12, p.1957-1968,1991.

WANG, J. et al. The physiological and molecular mechanisms of exogenous melatonin promote the seed germination of maize (*Zea mays* L.) under salt stress. **Plants**, v. 13, n. 15, p. 2142, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13152142>

XU, Y. et al. Effects of salt stress on physiological and agronomic traits of rice genotypes with contrasting salt tolerance. **Plants**, v. 13, n. 8, p. 1157, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13081157>

YANG, Z. et al. Genetic and molecular exploration of maize environmental stress resilience: Toward sustainable agriculture. **Molecular Plant**, v. 16, n. 10, p. 1496-1517, 2023. doi: 10.1016/j.molp.2023.07.005

ZHANG, Y. et al. Plants' response to abiotic stress: Mechanisms and strategies. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 13, p. 10915, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms241310915>

ZHOU, H. et al. Insights into plant salt stress signaling and tolerance. **Journal of Genetics and Genomics**, v. 51, n. 1, p. 16-34, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2023.08.007>