

# Efeito da salinidade na germinação de soja (*Glycine max* (L.) Merr.)

## Effect of salinity on soybean germination (*Glycine max* (L.) Merr.)

Ivanaldo Djedje<sup>1,\*</sup>, Custódio Tacarindua<sup>1</sup>, Cláudio Nhabinde<sup>2</sup> e John Kaunda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior Politécnico de Gaza, Divisão de Agricultura, Posto Administrativo de Lionde, Província de Gaza, Moçambique

<sup>2</sup>Laboratório Regional Sul de Sementes, Posto Administrativo de Lionde, Província de Gaza, Moçambique

<sup>3</sup>Instituto de Investigação Agrária de Moçambique, Centro Zonal Noroeste, Cidade de Lichinga, Província de Niassa, Moçambique

(\*E-mail: ivanaldodjedje19@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.36838>

Recebido/received: 2024.07.25

Aceite/accepted: 2024.09.10

### RESUMO

Este estudo avaliou o impacto do estresse salino na germinação e crescimento inicial de três variedades de soja ('GMZ-VAVA', 'Ocephara-4' e 'BRS-257') sob diferentes níveis de salinidade (0, 5 e 10 dS/m). O experimento foi realizado no Laboratório Regional Sul de Sementes de Lionde, na Província de Gaza, Moçambique, entre fevereiro e março de 2023. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x3, com três repetições. As sementes foram colocadas em uma câmara de germinação a 25°C por 8 dias, e foram avaliados vários parâmetros, incluindo a germinação total, a primeira contagem de germinação, o comprimento da parte aérea e do sistema radicular, a massa seca, a percentagem de plântulas normais, a percentagem de sementes mortas e o índice de tolerância à salinidade. Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de significância, seguidos pelo teste de Tukey. Os resultados mostraram que o estresse salino afetou o desempenho das variedades testadas, com a 'BRS-257' apresentando maior tolerância, sendo uma possível alternativa para regiões com solos salinos.

**Palavras-chave:** Germinação, Fisiologia de sementes, Stress abiótico, Cloreto de sódio.

### ABSTRACT

This study examined the effects of saline stress on the germination and early growth of three soybean varieties ('GMZ-VAVA', 'Ocephara-4', and 'BRS-257') under varying levels of salinity (0, 5, and 10 dS/m). The research took place at the Lionde Southern Regional Seed Laboratory in Gaza Province, Mozambique, from February to March 2023. A completely randomized design was employed in a 3x3 factorial scheme with three replications. Seeds were incubated in a germination chamber at 25°C for 8 days, during which several key parameters were assessed, including total germination, initial germination count, shoot and root length, dry weight, the percentage of normal seedlings, dead seed percentage, and salinity tolerance index. Statistical analysis was conducted using variance analysis at a 5% significance level, followed by Tukey's test for mean comparison. The findings revealed that saline stress had a significant impact on the varieties, with 'BRS-257' demonstrating the highest tolerance, suggesting it as a viable option for cultivation in saline-prone regions.

**Keywords:** Germination, Seed physiology, Abiotic stress, Sodium chloride.

## INTRODUÇÃO

A genética é crucial para o sucesso na produção agrícola, sendo fundamental para atingir o máximo potencial produtivo das culturas. A produtividade de espécies vegetais, incluindo a soja (*Glycine max* (L.) Merr.), é definida pela composição genética e condições ambientais, influenciadas por factores edafo-climáticos como temperatura, fotoperíodo, humidade e salinidade do solo (Pedrotti, 2015).

A germinação e o crescimento inicial das plântulas são os estágios mais sensíveis aos estresses (Arif, 2020). O primeiro contacto entre o ambiente salino e as plântulas ocorre durante o crescimento do eixo embrionário da semente, tornando a germinação a fase crucial para avaliar o comportamento de uma cultura sob estresse salino (Munns e Tester, 2008). Esse estresse afeta negativamente a germinação e o vigor das sementes de soja, devido à menor disponibilidade hídrica, toxicidade iónica e desequilíbrio nutricional causadas por altos níveis de sais no solo (Sousa, 2021).

A tolerância das plantas à salinidade é a capacidade de evitar que grandes quantidades de sal do substrato atinjam o protoplasma, resultando em efeitos tóxicos e osmóticos (Larcher, 2000). A habilidade de tolerar o estresse salino não depende apenas do tipo de sal, mas também é influenciada pelas características da variedade (Gregory *et al.*, 2018). A capacidade de germinação é um indicador da tolerância das plantas a elevados níveis de sais nas fases de desenvolvimento subsequentes (Taiz e Zeiger, 2010).

Estudos sobre o comportamento da soja sob estresse salino são relevantes, pois esse estresse pode afectar todos os estágios de desenvolvimento da soja, sendo prejudicial para a germinação e o vigor das sementes (Soares, 2015; Lima, 2019). Avaliando o efeito do estresse salino na qualidade fisiológica de sementes de soja Putri (2017), Guimarães *et al.* (2019) e Sousa (2021) observaram que o aumento das concentrações salinas reduziu a germinação e o vigor das sementes. No entanto, esses resultados foram obtidos de variedades diferentes das usadas em Moçambique.

Este estudo avaliou o comportamento da soja em condições de estresse salino, focando em uma variedade comum e duas recém-lançadas pelo Instituto de Investigação Agrária de Moçambique.

Estudos anteriores não consideraram variáveis como percentagem de sementes mortas, massa seca dos cotilédones e índice de tolerância à salinidade, o que poderia proporcionar resultados mais precisos sobre o efeito da salinidade na germinação das sementes de soja.

A soja possui uma grande diversidade de genótipos e variedades, implicando variação na tolerância ao estresse salino. Na literatura não foram encontrados estudos envolvendo as variedades utilizadas neste trabalho. Além disso, os resultados de estudos semelhantes são, em alguns casos, conflitantes e não generalizáveis. Desconhecendo-se o nível de tolerância dessas variedades de soja em solos com altos níveis de sais, a observação da capacidade de germinação das sementes nessas condições foi usada como indicador da tolerância à salinidade.

Dessa forma, este estudo foi essencial para determinar a capacidade de tolerância dessas variedades de soja à salinidade e sua adaptação a esse ambiente. Também avaliou a viabilidade da expansão da produção de soja para regiões com altos níveis de salinidade devido às mudanças climáticas. O estudo permitiu identificar características morfo-fisiológicas que elucidam os mecanismos de tolerância à salinidade, auxiliando na seleção de variedades de soja para melhoramento genético.

O objectivo deste trabalho foi avaliar o desempenho fisiológico de sementes de variedades de soja submetidas ao estresse salino durante a fase germinativa.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Local de estudo*

O experimento foi desenvolvido no Laboratório Regional Sul de Sementes, localizado no Posto Administrativo de Lionde, Distrito de Chókwe, na Província de Gaza, Moçambique. Este experimento foi montado em duas fases, tendo sido implementado o primeiro experimento de 16 a 24 de Fevereiro, e o segundo de 17 a 25 de Março de 2023. Foram utilizadas sementes de soja de três variedades fornecidas pelo Instituto de Investigação Agrária de Moçambique – Centro Zonal Noroeste. As sementes foram submetidas a condições de estresse salino durante 8 dias.

## Material vegetal

Estudou-se o desempenho fisiológico de sementes de variedades de soja em resposta ao estresse salino na fase germinativa, tomando como alicerce as variedades 'GMZ-VAVA' (Código: TGX 1987-62F), 'Ocephara-4' (Código: Ocephara-4) e 'BRS-257' (Código: BRS-257). Os valores agronômicos e morfológicos das variedades estudadas estão no Quadro 1.

**Quadro 1** - Valores agronômicos e morfológicos das cultivares estudadas

Caracter	Cultivares		
	'GMZ-VAVA'	'Ocephara-4'	'BRS 257'
Hábito de crescimento	Determinado	Determinado	Determinado
Rendimento (t/ha)	3	3	2,8
Altura da planta (cm)	76	78	50
Forma do grão	Esférica plana	Esférica plana	Esférica plana
Tamanho do grão	Pequeno	Médio	Grande
Comprimento do grão (cm)	0,5	0,6	0,6
Cor do grão	Castanha clara	Castanha clara	Castanha clara
Massa de 100 grãos (g)	12	15	17
Teor de humidade (%)	10,8	10,7	10,4

## Delineamento experimental

Usou-se o Delineamento Inteiramente Causalizado (DIC) para a condução do experimento, dado a homogeneidade do ambiente laboratorial. O experimento teve organização em esquema factorial de 3 x 3 (variedades x níveis de salinidade), com três repetições (ver Quadro 2), em duas réplicas de realização, tal como recomenda Montgomery (1991). Foram simulados três níveis de salinidade (0 – controle, 5 e 10 dS/m). O mesmo teve nove tratamentos, número oriundo da concatenação de três níveis de salinidade (S) e três variedades (V). O desenho experimental foi o mesmo nas duas vezes em que o experimento foi montado.

Para a efetivação deste estudo, optou-se na amostragem do tipo aleatória Simples. O teste de germinação de soja foi feito em 1350 sementes da cultura,

**Quadro 2** - Organização dos tratamentos em esquema factorial

Disposição dos Tratamentos		
V1S1	V2S1	V3S1
V1S2	V2S2	V3S2
V1S3	V2S3	V3S3

em 27 unidades amostrais, contendo 50 sementes, cada uma delas, tanto na primeira, bem como na segunda réplica do estudo.

## Indução ao estresse salino

Para melhor simulação de um campo com os níveis de salinidade referenciados anteriormente, foram

utilizadas nas duas réplicas do experimento, três soluções de cloreto de sódio, tal como descrito no Quadro 3.

**Quadro 3** - Doses de NaCl para indução ao estresse salino

Dose	Gramas de NaCl/Litro	Molaridade (mM)	Condutividade Elétrica (dS/m)
1	0,00	0,0	0,0
2	2,92	50	5
3	5,84	100	10

Fonte: Handbook of Physics and Chemistry (1975). Adaptado pelo autor.

## Teste de humidade

A realização deste teste obedeceu as regras estabelecidas pela ISTA (2008). Começou-se por pesar amostras de 25 g de sementes de cada uma das três variedades em uma balança analítica de marca Pioneer – Ohaus, de seguida foram cortadas na máquina de moagem de marca Marathon Eletric, e depois pesadas; tendo sido registado o peso da caixa sem semente, e depois da caixa com semente com recurso a um marcador delével, em cada uma das duas

amostras criadas para as três variedades, respectivamente. Usou-se o método de estufa a baixas temperaturas, e colocaram-se as caixas destapadas na estufa de secagem, tendo-se recorrido a estufa de secagem de marca Binder, em uma temperatura de 103 °C durante 17 horas. Ao fim desse período as caixas foram removidas, tapadas e colocadas no dessecador durante 45 minutos. Terminado isso, efectuaram-se as pesagens que conduziram a obtenção do teor de humidade, com base na seguinte fórmula:

$$(H2-H3) \times \frac{100}{H2-H1} \quad (1)$$

Onde:

H1 – É o peso em gramas do recipiente e a tampa; H2 – É o peso em gramas do recipiente com a tampa + a semente antes de seca; H3 – É o peso em gramas do recipiente com a tampa + a semente depois de seca.

### *Teste de germinação*

Para a realização do teste de germinação de sementes de variedades de soja em condições de estresse salino, começou-se por seleccionar as sementes de soja mais uniformes, e com o tegumento intacto. De seguida fez-se a sementeira em folhas de papel de germinação atempadamente humedecidas com solução salina, para melhor simulação do estresse salino, numa proporção que equivaleu a 3 vezes a massa do papel seco. Já que o papel pesou 19,95 g, a quantidade de água colocada nas bandejas foi de 59,85 ml. Feito isso, foram preparadas as soluções salinas aplicadas com base na diluição de Cloreto de Sódio (NaCl) em água destilada, nas concentrações de 5 e 10 dS/m.

Usou-se uma estufa de germinação regulada à uma temperatura de 25 °C, com variação ajustada para ±2°C e fotoperíodo com 12 horas de luz. Depois disso, cada um dos rolos contendo 50 sementes teve as suas extremidades presas por elásticos, de modo a impedir que tais rolos se desfizessem, a seguir os mesmos rolos foram acondicionados em um saco plástico de polietileno, etapa importante para a redução da evaporação. Posteriormente, os plásticos que continham os rolos foram colocados

na prateleira, tendo sido usado clippers para afixá-los durante 8 dias.

### *Variáveis medidas*

#### Primeira contagem da germinação (PCG)

Realizou-se no quinto dia após a sementeira, com base no registo das plântulas normais verificadas na primeira contagem do teste, por forma a ir em conformidade com as Regras para Análise de Sementes (ISTA, 2008). Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais em cada uma das variedades testadas.

#### Comprimento da Parte Aérea (CPA) e do Sistema Radicular (CPSR)

A medição foi realizada aos oito dias após a sementeira, tomando como amostra dez plântulas normais em cada unidade experimental. Tais plantas foram retiradas do rolo de germinação obedecendo a ordem da esquerda para a direita sem escolha premeditada. Avaliaram-se de forma particularizada o Comprimento da Parte Aérea (CPA) e do Sistema Radicular (CSR), por intermédio de uma régua graduada em mm, tendo expressado os resultados em centímetros.

#### Plântulas Normais (PN)

Esta variável foi aferida no 8º dia depois da sementeira, tendo sido abertos os papéis de germinação, e classificadas as plantas normais, através da observação dos seguintes critérios: raiz principal branca, bem desenvolvida e com várias ramificações secundárias; um par de folhas verdadeiras menores do que as cotiledonares e com leve pelugem; cotilédones arredondados e verde-claro, e uma coloração verde saudável em toda plântula tal como descreveu Agarwal *et al.* (2015). Os resultados destes caracteres foram expressos em percentagem.

#### Sementes Mortas (SM) e Germinação Total (GT)

As avaliações foram realizadas aos 8 dias após a sementeira, de acordo com as Regras para Análise de Sementes, tendo sido consideradas sementes mortas as que não tiveram a capacidade de iniciar o processo de germinação e formar uma

planta viável. Os resultados foram expressos em percentagem.

A variável Germinação Total foi aferida tomando como parâmetro para contagem de sementes germinadas a emissão da radícula. Ela é resultante do somatório de plântulas normais e anormais. A quantificação dos resultados foi expressa em percentual para cada tratamento, calculado por meio da equação (2):

$$GT = \frac{NG}{NS} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

GT = Germinação Total; NG = Número de sementes germinadas no 8º dia; NS = Número de sementes semeadas.

Massa Seca da Parte Aérea sem Cotilédones (MSPA/C), dos Cotilédones (MSC) e do Sistema Radicular (MSSR)

A avaliação foi realizada aos 8 dias após a semeadura. Foram retiradas do rolo de germinação 10 plântulas normais, obedecendo a ordem da esquerda para a direita sem seleção premeditada. A parte aérea foi separada da parte da radícula e dos cotilédones, tendo sido colocadas para secar em estufa com ventilação forçada a 65 °C até peso constante, durante 24 horas. Posteriormente, foi realizada a pesagem em balança de precisão e os resultados expressos em gramas.

Índice de tolerância a salinidade

Foi obtido com base nos dados de massa seca total, para tal calcularam-se as percentagens particionadas entre os órgãos vegetativos e o índice de tolerância à salinidade. Para o efeito, compararam-se os dados dos tratamentos salinos com os do controle (CE = 0 dS/m), tendo como alicerce quatro níveis de classificação, baseadas no rendimento: Tolerante (80 – 100); MT: Moderadamente Tolerante (60 – 79); MS: Moderadamente Sensível (40 – 59); S: Sensível (0 – 39). De acordo com Fageria *et al.* (2010), com adaptação pelos autores.

$$(\%) \text{ ITS} = \frac{\text{Produção de MST no tratamento salino}}{\text{Produção de MST no tratamento controle}} \times 100 \quad (3)$$

## Análise de dados

Para análise e interpretação dos dados usou-se o pacote estatístico R Studio, versão 4.2.1, criado no Departamento de Estatística da Universidade de Auckland, Nova Zelândia, em 1993. Fez-se a observação dos pressupostos para validar o teste de análise de variância, e porque os dados observaram uma distribuição normal, fez-se a análise de variância a um nível de significância de 5%, para verificação do efeito do estresse salino. Seguiu-se a comparação das médias pelo teste de Tukey, uma vez que se constataram diferenças significativas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância das variáveis revelou algumas diferenças significativas entre as variedades e entre os níveis de salinidade, além de um efeito significativo para a interação desses fatores, indicando que houve influência da salinidade na germinação de sementes das diferentes variedades.

### Primeira Contagem de Germinação

Os resultados da Primeira Contagem de Germinação mostram que o estresse salino influencia na germinação das sementes de variedades de soja. A variedade 'BRS-257' exibiu maior percentagem de germinação no quinto dia. Na variedade 'Ocephara-4', os danos advindos do sal foram mais intensos aos 10 dS/m, nível em que não houve registro de plântulas normais. Nas variedades 'BRS-257' e 'GMZ-VAVA', a salinidade causou maior percentagem de plântulas normais na concentração de 5 dS/m, decaindo com a elevação da concentração salina, conforme detalha o Quadro 4.

**Quadro 4** - Médias da Primeira Contagem de Germinação (%) de plântulas de variedades de soja, em diferentes níveis de estresse salino

Cultivar	Nível de Salinidade (dS/m)		
	0	5	10
'Ocephara-4'	73,00Ba	62,66Bb	0Cc
'BRS-257'	86,17Aa	72,67Ab	42,00Ac
'GMZ-VAVA'	76,33Ba	68,33Ab	22,00Bc

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Essas observações estão em conformidade com Alves (2019), que destacou o impacto negativo dos potenciais hídricos excessivamente negativos no processo germinativo. Estes resultados alinham-se com o estudo de Avera *et al.* (2015), que associaram a redução no vigor à diminuição do potencial hídrico devido ao aumento da concentração salina. Diferenças de desempenho podem ser atribuídas às condições ambientais e às características específicas de cada genótipo, como indicado por Acosta-Matos *et al.* (2017).

Outros estudos relataram redução na capacidade de germinação nos primeiros cinco dias após a sementeira em várias culturas, incluindo arroz, milho e feijão-nhamba, conforme observado por Cavalcante *et al.* (2019), Almeida *et al.* (2020) e Neto *et al.* (2020).

#### Comprimento da Parte Aérea e do Sistema Radicular

Os resultados indicaram que a interação entre o estresse salino e as variedades de soja não afectou significativamente o comprimento das plântulas. No entanto, a diferença nas variedades influenciou o comprimento da parte aérea. A variedade BRS-257 apresentou melhores resultados tanto no nível de controlo quanto nos níveis de salinidade, conforme detalhado no Quadro 5. Na variedade Ocephara-4, o comprimento da parte aérea foi maior no tratamento de controlo e diferenciou-se aos 5 dS/m dos níveis salinos. Nas variedades BRS-257 e GMZ-VAVA, o comprimento foi maior no tratamento de controlo e reduziu gradualmente com a elevação da concentração de NaCl. A translocação deficiente

**Quadro 5** - Médias do Comprimento da Parte Aérea (cm) de plântulas variedades de soja, em diferentes níveis de estresse salino

Cultivar	Nível de Salinidade (dS/m)		
	0	5	10
'Ocephara-4'	0,92Ba	0,67Bb	0Bc
'BRS-257'	1,882Aa	0,78Ab	0,269Ac
'GMZ-VAVA'	0,97Ba	0,643Bb	0,174Bc

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey à 5% de significância.

das reservas alimentares pode explicar esse fenómeno, conforme sugerido por Arif *et al.* (2020).

Esses resultados corroboram estudos anteriores de Miransari (2015) e Sousa *et al.* (2021) em sementes de soja, que encontraram um efeito negativo da salinidade no crescimento da soja. Acosta-Matos (2017) estabeleceu que a limitação do crescimento ocorre devido ao maior gasto de energia para absorver água do substrato com aumento da salinidade.

A medição do comprimento do sistema radicular não foi afectada pela combinação dos níveis de salinidade com as variedades. A variedade Ocephara-4 teve desenvolvimento inferior comparado às outras, tanto no nível de controlo quanto sob estresse salino nas concentrações de 5 e 10 dS/m, conforme detalhado no Quadro 6. O efeito das concentrações de estresse salino no comprimento do sistema radicular foi semelhante ao observado na parte aérea. A paralisação no crescimento das plântulas devido ao sal se deve ao custo metabólico de energia necessário para adaptação à salinidade (Dias *et al.*, 2016).

**Quadro 6** - Médias do Comprimento do Sistema Radicular (cm) de plântulas de variedades de soja, em diferentes níveis de estresse salino

Cultivar	Nível de Salinidade (dS/m)		
	0	5	10
'Ocephara-4'	0,82Ba	0,67Bb	0Bc
'BRS-257'	1,134Aa	0,791Ab	0,356Ac
'GMZ-VAVA'	1,024Aa	0,849Ab	0,217Ac

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey à 5% de significância.

As plântulas de soja exibiram um comprimento radicular superior ao da parte aérea, indicando maior tolerância à salinidade. Isso decorre da expansão do sistema radicular, visto que a regulação da expansão foliar em condições de estresse osmótico e salinidade é influenciada pela quantidade de água acumulada nas raízes, conforme observado por Steiner *et al.* (2020). Resultados semelhantes foram obtidos por Steiner *et al.* (2019) e Guimarães *et al.* (2019) em culturas de feijão-nhamba, tabaco e soja, respectivamente.

## Massa Seca dos Cotilédones

As variedades de soja, em conjunto com os níveis de estresse salino, influenciaram significativamente a massa seca dos cotilédones. A variedade BRS-257 mostrou maior massa seca em controle e estresse salino (5 e 10 dS/m), enquanto as concentrações de NaCl resultaram em massas semelhantes em controle e 5 dS/m, mas com redução nas variedades conforme a concentração aumentava, especialmente entre 5 e 10 dS/m, como mostrado no Quadro 7.

**Quadro 7** - Médias da Massa Seca dos Cotilédones (g) de plântulas de variedades de soja, em diferentes níveis de estresse salino

Cultivar	Níveis de Salinidade (dS/m)		
	0	5	10
'Ocephara-4'	0,066Aba	0,054Ba	0Cb
'BRS-257'	0,086Aa	0,071Aa	0,042Ab
'GMZ-VAVA'	0,053Ba	0,045Ba	0,019Bb

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Espera-se que variedades com maior massa seca, como BRS-257 e GMZ-VAVA, tenham melhores condições de metabolizar suas reservas energéticas para o desenvolvimento da plântula (Vasconcelos, 2016). A redução da massa seca dos cotilédones devido ao estresse salino foi observada em estudos anteriores, como em feijão-vulgar por Dalchiavon *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2016), e na soja por Putri *et al.* (2017).

Esses resultados confirmam os efeitos negativos do estresse salino na fisiologia, morfologia e anatomia de várias culturas, incluindo a soja (Dias, 2016). Em condições de estresse, a planta não consegue produzir e armazenar nutrientes e energia suficientes para sustentar seu crescimento normal (Steiner *et al.*, 2019).

A massa fresca e a massa seca são indicadores importantes do fornecimento hídrico e do crescimento da planta ao longo do ciclo (Shahid, 2018).

## Plântulas Normais

A percentagem de plântulas normais foi influenciada pela interação entre as variedades de soja e os níveis de salinidade. A variedade BRS-257 mostrou maior percentagem de plântulas normais em todos os níveis, conforme visto no Quadro 8. O NaCl teve um efeito menos prejudicial nas variedades Ocephara-4 e BRS-257 em 5 dS/m, sem diferença estatística em relação ao controle, mas reduziu consideravelmente em 10 dS/m. A variedade GMZ-VAVA também foi afetada pela salinidade, mostrando diferenças significativas entre os níveis experimentados.

**Quadro 8** - Percentagem de Plântulas Normais (%) de variedades de soja, em diferentes níveis de estresse salino

Cultivar	Nível de Salinidade (dS/m)		
	0	5	10
'Ocephara-4'	80,67Ba	74,67Ba	0Cb
'BRS-257'	90,67Aa	84,33Aa	46,00Ab
'GMZ-VAVA'	87,33ABa	76,00Bb	24,00Bc

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Estudos anteriores, como o de Dias *et al.* (2016), observaram diminuição na percentagem de plântulas normais devido à redução do potencial osmótico das soluções, especialmente a partir de 10 dS/m. O estresse salino, conforme explicado por Alves *et al.* (2022), pode reduzir o vigor das sementes e a mobilização de reservas, afetando as membranas celulares e reduzindo a disponibilidade de água para as sementes (Cabral, 2019).

## Germinação Total e Sementes Mortas

A germinação total não foi afetada pela interação entre variedades e níveis de estresse salino. Nas análises do Quadro 9, todas as três variedades mostraram percentagens de germinação estatisticamente iguais em ambos os níveis de controle e de salinidade, com reduções proporcionais devido à salinidade. O aumento na concentração de

NaCl intensificou os danos, reflectindo os efeitos osmóticos e iônicos do estresse salino na absorção de água e na entrada excessiva de íons (Agarwal *et al.*, 2015). Isso, possivelmente, resultou da diminuição da divisão celular, disponibilidade de nutrientes e desenvolvimento do embrião (Steiner *et al.*, 2019), o que corrobora observações anteriores sobre a redução no vigor e germinação de sementes de soja em condições salinas (Vasconcellos, 2016; Dantas, 2017; Alves *et al.*, 2022).

**Quadro 9** - Percentagem de Germinação Total de variedades de soja, em diferentes níveis de estresse salino

Cultivar	Nível de Salinidade (dS/m)		
	0	5	10
'Ocephara-4'	96,00Aa	92,67Ab	77,00Ac
'BRS-257'	98,67Aa	94,33Ab	86,00Ac
'GMZ-VAVA'	96,00Aa	93,00Ab	75,67Ac

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de significância.

A velocidade do processo germinativo não foi determinada devido ao potencial impacto no crescimento das plântulas durante o teste de germinação. A combinação de variedades e níveis de salinidade não afectou a percentagem de sementes mortas, embora as três variedades tenham mostrado diferenças significativas devido à salinidade, conforme evidenciado no Quadro 10. A baixa mortalidade de sementes da variedade BRS-257 em 10 dS/m pode ser atribuída à não inibição da protrusão da radícula devido ao potencial hídrico não suficientemente negativo da solução salina, apoiando pesquisas anteriores (Araújo, 2018; Gregory *et al.*, 2018). Por outro lado, altas percentagens de sementes mortas em 10 dS/m estão em linha com a inibição da germinação causada por altas concentrações de sais, especialmente NaCl, devido à seca fisiológica, diminuição do potencial hídrico e aumento da concentração iônica no embrião, resultando em efeitos tóxicos e limitações metabólicas na germinação (Negrão *et al.*, 2016; Guimarães *et al.*, 2019; Sousa, 2021).

**Quadro 10** - Percentagem de Sementes Mortas (%) de variedades de soja, em diferentes níveis de estresse salino

Cultivar	Nível de Salinidade (dS/m)		
	0	5	10
'Ocephara-4'	4,00Ac	7,33Ab	23,00Aa
'BRS-257'	1,33Bc	5,67Bb	14,00Ba
'GMZ-VAVA'	4,00Ac	7,00Ab	24,33Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey à 5% de significância.

### Massa Seca da Parte Aérea sem Cotilédones e do Sistema Radicular

A interação entre as variedades e os níveis de salinidade afectou a massa seca da parte aérea. Nas concentrações de 5 dS/m, as variedades mostraram comportamento semelhante ao controle, conforme o Quadro 11 indica. Entretanto, na concentração de 10 dS/m, BRS-257 e GMZ-VAVA tiveram resultados mensuráveis, ao contrário de Ocephara-4, que não apresentou plântulas normais, conforme mencionado anteriormente. Os danos foram mais severos nesse último nível, indicando maior perniciosa com maior concentração de NaCl, sem aumento significativo na massa seca, mas sim redistribuição das reservas da semente. Estudos anteriores confirmam essa influência negativa da salinidade no crescimento e na produção de massa seca.

**Quadro 11** - Médias da Massa Seca da Parte Aérea (g) de plântulas de variedades de soja, em diferentes níveis de estresse salino

Cultivar	Nível de Salinidade (dS/m)		
	0	5	10
'Ocephara-4'	0,028Aa	0,024Aa	0Bb
'BRS-257'	0,033Aa	0,024Aa	0,007Ab
'GMZ-VAVA'	0,023Aa	0,016Aa	0,005Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey à 5% de significância.

O sistema radicular não foi afetado pela interação entre variedades e salinidade, com resultados melhores para BRS-257 no controle e para GMZ-VAVA em 5 dS/m, conforme o Quadro 12. Estudos similares mostram redução na biomassa devido

ao aumento da salinidade, limitando o crescimento das raízes e da parte aérea. Isso é atribuído à elevada concentração de cloreto de sódio, afetando os mecanismos de hidrólise e mobilização de reservas.

**Quadro 12** - Médias da Massa Seca do Sistema Radicular (g) de plântulas de variedades de soja, em diferentes níveis de estresse salino

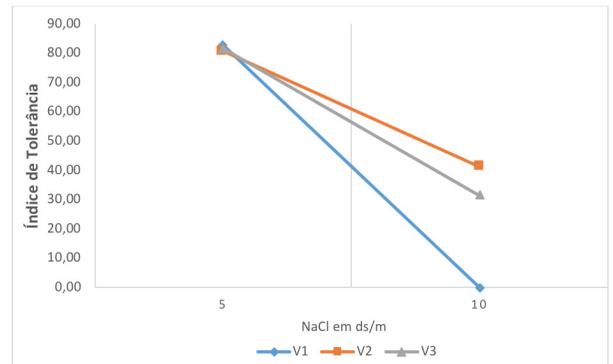
Cultivar	Nível de Salinidade (dS/m)		
	0	5	10
'Ocephara-4'	0,119Ca	0,095Cb	0Cc
'BRS-257'	0,163Aa	0,131Ab	0,053Ac
'GMZ-VAVA'	0,127Ba	0,103Ab	0,037Bc

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey à 5% de significância.

### Índice de Tolerância à Salinidade

Para os cálculos desses índices, utilizou-se a massa seca total dos tratamentos salinos de cada variedade como parâmetro principal para determinação da tolerância dos materiais ao estresse em estudo, seguindo os parâmetros estabelecidos por Fageria *et al.* (2010). Quando expostas a concentração de 5 dS/m, as variedades 'Ocephara-4', 'BRS-257' e 'GMZ-VAVA' demonstraram tolerância, tendo apresentado os índices de 82,8, 81,5 e 80,7, respectivamente; o que evidencia que as suas características genéticas são adaptáveis a essa condição.

Na concentração de 10 dS/m a variedade 'BRS-257' foi moderadamente sensível, com o índice de 41,2, enquanto as variedades 'Ocephara-4' e 'GMZ-VAVA' foram sensíveis, com as fasquias de 0 e 31,4, nessa ordem (Figura 1).



**Figura 1** - Valores correspondentes ao Índice de Tolerância à Salinidade das cultivares de soja analisadas em diferentes níveis de estresse salino. V1 – 'Ocephara-4'; V2 – 'BRS-257'; V3 – 'GMZ-VAVA'.

Dias *et al.* (2016) realizaram um estudo no qual testaram a tolerância de diversas culturas a concentração de 5 dS/m, nele constataram que a cultura de soja é moderadamente tolerante, divergindo dos resultados deste estudo. Esta discrepância é explicada pela diferença nas características genéticas das variedades usadas, tal como sugere Vernetti (2013).

### CONCLUSÕES

A concentração de 10 dS/m foi considerada crítica para a germinação de sementes e desenvolvimento das plântulas.

As variedades Ocephara-4, BRS-257 e GMZ-VAVA foram tolerantes ao estresse salino aos 5 dS/m, e aos 10 dS/m as variedades Ocephara-4 e GMZ-VAVA foram sensíveis.

A variedade BRS-257 apresentou maior capacidade de tolerância ao estresse salino.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Motos, J.R.; Ortuño, M.F.; Bernal-Vicente, A.; Diaz-Vivancos, P.; Sanchez-Blanco, M.J. & Hernandez, J. A. (2017) - Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, vol. 7, p. n. 1, art. 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Agarwal, N.; Kumar, A.; Agarwal, S. & Singh, A. (2015) - Evaluation of soybean (*Glycine max* (L.) varieties under salinity stress during early vegetative growth. *International Current Microbiology and Applied Sciences*, vol. 41, n. 2, p. 552-555.
- Almeida, C.S.; Guariz, H.R.; Pinto, M.A.B. & Almeida, M.F. (2020) - Germination of creole maize and fava bean seeds under salt stress. *Revista Caatinga*, vol. 33, n. 3, p. 853-859. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n329rc>
- Alves, F.A.T.; Lins, H.A.; Albuquerque, J.R.T.; Paiva, E.P.; Oliveira, F.A.; Silveira, L.M.; Mendonça, V. & Barros, A.P.J. (2022) - Germination and Vigor of Soybean Genotypes Seeds under Saline Stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 26, n. 12, p. 939-946. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12>
- Alves, V.C.D. (2019) - Germinação e Crescimento de Plântulas de Soja em Condições de Estresse Salino. *XIV Semana Agronômica de Cassilândia e VII Semana de Pesquisa da Pós-Graduação*. Cassilândia-MS, p. 1-4.
- Araújo, M.L.; de Magalhães, A.C.M.; de Abreu, M.G.P.; Maciel, J.A. & Melhorança Filho, A. L. (2018) - Efeito de diferentes potenciais osmóticos sobre a germinação e o desenvolvimento de plântulas de feijão enxofre. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, vol. 22, n. 3, p. 201-204. <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2018v22n3p201-204>
- Arif, Y.; Singh, P.; Siddiqui, H.; Bajguz, A. & Hayat, S. (2020) - Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*. vol. 156, p. 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Avera, Y.H.; Pérez, N.S.; Bacallao, M.L.; Abad, C.D.; Pérez, R.O. & Obregón, G.E. (2015) - Avaliação da Tolerância à Salinidade em Condições Controladas de Nove Variedades Cubanas de Soja (*Glycine max*). *Cultivos Tropicales*, vol. 36, n. 4, p. 120-125.
- Cabral, R.C. (2019) - *Identificação de Variedades de Soja Para Tolerância aos Estresses Abióticos*. Dissertação de mestrado. Mato Grosso do Sul, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 77 p.
- Cavalcante, J.A.; Reolon, F.; Moraes, C.L. de; Ternus, R.M.; Silva, R.N.O.; Martins, A.B.N. & Moraes, D.M. (2019) - Potencial fisiológico de sementes de duas variedades de arroz em resposta ao estresse salino. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 42, n. 1, p. 184-193. <https://doi.org/10.19084/RCA17279>
- Dalchiavon, F.C.; Neves, G. & Haga, K.I. (2016) - Efeito de estresse salino em sementes de *Phaseolus vulgaris*. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 39, n. 3, p. 404-412. <https://doi.org/10.19084/RCA15161>
- Dantas, F.L. (2017) - Strategy for selection of soybean genotypes tolerant to drought during germination. *Genetics and Molecular Research*, vol. 16, n. 2, art. gmr16029654. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16029654>
- Dias, N.S.; Blanco, F.F.; Souza, R.E.; Ferreira, J.F.S.; Neto, O.N.S. & Queiroz, Í.S.R. (2016) - Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C.F. & Gomes Filho, E. (Eds.) - *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, cap. 11, p. 151-162.
- Fageria, N.K.; Soares Filho, W.S. & Gheyi, H.R. (2010) - Melhoramento genético vegetal e seleção de espécies tolerantes à salinidade. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S. & Lacerda, C.F. (Eds.) - *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza, INCTSal, Cap. 13, p. 205-216.
- Gregory, P.J.; Ismail, S.; Razaq, I.B. & Wahbi, A. (2018) - *Soil salinity: current status and in-depth analyses for sustainable use*. International Atomic Energy Agency. p. 104-120. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE1841-WEB.pdf>
- Guimarães, J.B.A.; Mendes, A.S.; Lobato, M.S.; Moura, B.S. & Lima, J.J.P. (2019) - Estresse Salino na Germinação de Sementes de Soja (*Glycine max* L.). *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, Palmas – Brasil*. p. 1-4. <https://www.confeca.org.br>
- ISTA (2008) - *International Ruler For Seed Testing: The germination Test*. International Seed Testing Association, 3ª ed, 759 p.
- Larcher, W. (2000) - *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos, RIMA Artes e Textos, p. 531.

- Lima, R.K.O. (2019) - *Germinação e Vigor de Sementes de Soja em Condições de Estresses Térmico e Salino*. Monografia, Curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará, p. 12-22.  
<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/50311>
- Miransari, M. (2015) - *Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production: Soybean Production*. Academic Press. vol. 1, p. 157-177.
- Montgomery, D.C. (1991) - *Design and Analysis of Experiments*. 7<sup>th</sup> Edition. Wiley, 334 p.
- Munns, R. & Tester, M. (2008) - Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Reviews on Plant Biology*, vol. 59, p. 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Negrão, S.; Schmöckel, S.M. & Tester, M. (2016) - Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, vol. 119, n. 1, p. 1-11. <https://doi.org/10.1093%2Faob%2Fmcw191>
- Neto, A.C.A.; Nunes, R.T.C.; Costa, R.Q.; Moreira, G.L.P.; Silva, R.A. & São José, A.R. (2020) - Germinação e crescimento inicial de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. sob estresse salino. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 43, n. 3, p. 283- 289. <https://doi.org/10.19084/rca.18510>
- Pedrotti, A. (2015) - Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, vol. 19, n. 2, p. 1308-1324.
- Putri, P.H.; Susanto, G.W.A. & Artari, R. (2017) - Response of soybean genotypes to salinity in germination stage. *Nusantara Bioscience*, vol. 9, n. 2, p. 133-137. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n090203>
- Shahid, S.A.; Zaman, M. & Heng, L. (2018) - Soil salinity: historical perspectives and a world overview of the problem. In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer, Cham, p. 43-53.
- Silva, R.C.; Grzybowski, C.R.S. & Panobianco, M. (2016) - Vigor de sementes de milho: influência no desenvolvimento de plântulas em condições de estresse salino. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 47, n. 3, p. 491-499. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160059>
- Soares, M.M. (2015) - Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 45, n. 4, p. 370-378. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v45i35357>
- Sousa, R.M.A. (2021) - *Desempenho Fisiológico de Sementes de Soja em Resposta aos Estresses Hídrico e Térmico na Fase Germinativa*. (Monografia) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.
- Steiner F.; Rosa, L.; Salles, J.S. & Silva, T.M.S. (2019) - Tolerância de cultivares de soja ao alumínio durante a fase de germinação de sementes. *XIV Semana Agronômica de Cassilândia*.
- Steiner, F.; Zuffo, A.M.; Teodoro, P.E.; Aguilera, J.G. & Teodoro, L.P.R. (2020) - Multivariate adaptability and stability of soya bean genotypes for abiotic stresses. *Journal of Agronomy and Crop Science*, vol. 207, n. 2, p. 354-361. <https://doi.org/10.1111/jac.12446>
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2010) - *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 819 p.
- Vasconcellos, L. (2016) - *Caracterização fisiológica de genótipos de soja submetidos ao estresse salino*. – Lavras: UFLA. Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras.
- Vernetti, F.J. (2013) - *Considerações sobre implantação de lavouras de soja: A produtividade de uma cultura é definida pela interação entre o genótipo da planta e o ambiente de produção*. Embrapa Clima Temperado, Portal do agronegócio.