



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE



ÍNDICE MGIDI NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO COM MELHOR EFICIÊNCIA NO USO DE NITROGÊNIO E TOLERÂNCIA À SALINIDADE

NARTÊNIA SUSANE COSTA ARAGÃO



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**



NARTÊNIA SUSANE COSTA ARAGÃO

**ÍNDICE MGIDI NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO COM MELHOR
EFICIÊNCIA NO USO DE NITROGÊNIO E TOLERÂNCIA À SALINIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2026

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

A659i Aragão, Nartênia Susane Costa.
Índice MGIDI na seleção de genótipos de milho com melhor eficiência no uso de nitrogênio e tolerância à salinidade / Nartênia Susane Costa Aragão; orientador Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira. – São Cristóvão, SE, 2026.
50 f.: il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2026.

1. Agrobiodiversidade. 2. Milho – Melhoramento genético. 3. Estresse (Fisiologia). 4. Solos – Salinidade. 5. Absorção. I. Oliveira, Gustavo Hugo Ferreira de, orient. II. Título.

CDU 633.15

NARTÊNIA SUSANE COSTA ARAGÃO

**ÍNDICE MGIDI NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO COM MELHOR
EFICIÊNCIA NO USO DE NITROGÊNIO E TOLERÂNCIA À SALINIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

APROVADA em 20 de fevereiro de 2026.

Dr. Marcos Eric Barbosa Brito

UFS

Dr. Márcio Lisboa Guedes

UVA

Prof. Dr. Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

“Eu sou parte de uma equipe. Então, quando venço, não sou eu apenas quem vence. De certa forma termino o trabalho de um grupo enorme de pessoas!”

(Ayrton Senna)

À minha filha e à minha mãe, que são as minhas maiores motivações e a razão pela qual busco ser uma pessoa e uma profissional melhor todos os dias. Aos meus irmãos, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio e força em cada etapa da minha trajetória. Às mulheres que seguem resistindo e ocupando seus espaços na ciência e na sociedade.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a **Deus**, por ter sido meu sustento nos momentos de cansaço, minha força nos dias difíceis e minha sabedoria ao longo de toda esta caminhada. Em cada oração, roguei por discernimento nos estudos, e Deus, em Sua infinita bondade, ouviu as minhas preces. Por isso, concluir minha pós-graduação em nível de mestrado é mais do que uma conquista acadêmica, é a realização de um propósito, vivida com o coração profundamente grato.

Nada disso teria sido possível sem aqueles que sempre estiveram ao meu lado. À minha mãe, **Jocileide Costa**, e ao meu pai, **Roberto Vieira**, minha gratidão vai além das palavras. Cada conquista minha carrega o esforço, o amor e as renúncias de vocês. À minha filha, **Melissa Sophya**, meu maior presente. Você foi minha inspiração diária, minha razão para não desistir e a força que me impulsionou a seguir em frente mesmo nos dias mais cansativos. Cada passo dessa trajetória foi pensando em você, para que um dia se orgulhe da mulher e da mãe que nunca deixou de lutar. Este título também é seu, porque foi você quem me ensinou, todos os dias, o verdadeiro significado de coragem.

Aos meus irmãos **Naiara, Natanael, Laura e João Lucas**, agradeço pelo apoio, incentivo e pelas palavras de ânimo nos momentos em que precisei seguir em frente. Aos meus avós, **Manoel e Núbia**, meu agradecimento por acreditarem em mim e pelos ensinamentos que carrego comigo. A **Arthur Nascimento**, agradeço por me apoiar, por celebrar minhas conquistas, por acreditar em mim e por sempre enxergar o meu potencial. Seu incentivo foi essencial para que eu alcançasse mais esta conquista. Sua trajetória e dedicação são inspiração para mim.

Ao meu orientador, Prof. Dr. **Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira**, minha profunda gratidão por sempre acreditar em mim desde o início da graduação e por ter sido mais do que um orientador: um incentivador e um exemplo de profissionalismo. Sua confiança, orientação e oportunidades foram determinantes para minha formação acadêmica e pessoal. Aos membros atuais e egressos do **Grupo de Estudos em Melhoramento Vegetal do Semiárido (GEMS)**, agradeço pela convivência, pelos aprendizados compartilhados e pelo crescimento profissional construído coletivamente. Estar no campo com vocês, dividindo responsabilidades, desafios e conquistas, foi uma experiência marcante. Agradeço, em especial, à **Mikaely**, pois sua presença ao longo dessa caminhada foi essencial. Levo comigo não apenas a parceria construída, mas uma amizade sincera que marcou profundamente essa trajetória.

Às meninas da pós-graduação, **Jacilene e Carla**, agradeço pelo apoio, pelas trocas de conhecimento e pela amizade construída. À **Barbara**, meu agradecimento mais afetuosos, por dividir as angústias e alegrias da pós-graduação, por tornar os dias difíceis em dias suportáveis e por tornar essa caminhada mais humana. Nossa convivência intensa resultou em uma amizade que levarei comigo com muito carinho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa história. Cada palavra, cada gesto e cada incentivo contribuíram para que eu chegasse até aqui. À **Universidade Federal de Sergipe (UFS)** e à **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, minha gratidão pelo suporte institucional, acadêmico e financeiro, sem os quais esta pesquisa não teria sido possível.

Hoje, ao olhar para trás, vejo que cada dificuldade enfrentada foi, na verdade, um degrau. E, com o coração cheio de gratidão, sigo em frente, levando comigo tudo o que vivi, aprendi e me tornei.

BIOGRAFIA

Nartênia Susane Costa Aragão, nascida em 11 de outubro de 1999, no município de Nossa Senhora da Glória, Sergipe, filha de Jocileide Costa Aragão e Roberto Vieira Aragão, mãe de Melissa Sophya Aragão dos Santos, Técnica em Agropecuária pelo Instituto Federal de Sergipe (IFS – Campus Glória) e Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Sergipe (UFS – Campus Sertão). Atualmente cursa o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade (PPGAGRI/UFS), atuando na linha de Melhoramento Genético de Plantas, com foco na seleção de genótipos de milho para eficiência no uso de nitrogênio e tolerância à salinidade por meio de índices de seleção, sob orientação do professor Dr. Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira. Durante a graduação, foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC) nos períodos de 2021–2022 e 2022–2023, desenvolvendo pesquisas voltadas à identificação de genótipos de milho tolerantes a estresses abióticos. Ao longo de sua trajetória acadêmica, foi premiada diversas vezes por excelência científica, incluindo: 3º lugar na 5ª SEAGRO (2025); 3º lugar no I CONAGRO (2024); 1º lugar na III SEAGRO (2023); 2º lugar no 15º EIDTI/UFS (2023); 2º lugar no 33º EIC/UFS (2023) e 2º lugar na III SEAGRO (2023). É membro efetivo do Grupo de Estudos em Melhoramento Vegetal do Semiárido (GEMS), onde descobriu sua paixão pela pesquisa e busca fortalecer a representatividade feminina na ciência e contribuir para o desenvolvimento sustentável por meio do melhoramento genético de plantas.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	6
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Importância e aspectos gerais da cultura do milho.....	8
2.2 Estresse salino em plantas de milho.....	8
2.3 Tolerância do milho à salinidade.....	8
2.4 Nitrogênio na cultura do milho e eficiência no seu uso.....	9
2.5 Nitrogênio como atenuador do estresse salino.....	9
2.6 Melhoramento genético para tolerância à salinidade no milho.....	10
2.7 Melhoramento genético para eficiência no uso de nitrogênio no milho.....	10
2.8 Melhoramento genético em regiões semiáridas.....	11
2.9 Índices de seleção multivariada aplicados à seleção de genótipos ideótipos.....	11
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13
4. ARTIGO 1: Seleção de progênies de meios-irmãos de milho em ambientes contrastantes para melhor eficiência no uso de nitrogênio e tolerância à salinidade.....	19
RESUMO.....	19
4.1. Introdução.....	19
4.2. Material e Métodos.....	20
4.2.1. Descrição das áreas experimentais e material genético.....	20
4.3. Experimento I - Casa de vegetação: Avaliação da tolerância à salinidade em estádios iniciais da cultura do milho.....	21
4.3.1. Delineamento e instalação experimental.....	21
4.3.2. Condução das plantas experimentais.....	21
4.3.3. Características agronômicas avaliadas.....	23
4.4. Experimento II - Campo: Estudo da eficiência do uso de nitrogênio no milho.....	24
4.4.1. Delineamento e condução experimental.....	24
4.4.2. Características agronômicas avaliadas.....	25
4.4.3. Análises estatísticas.....	26
4.5. Resultados.....	26
4.5.1. Análise de variância.....	26
4.5.2. Análise fatorial em ambiente casa de vegetação e sequeiro.....	28
4.5.3. Seleção e análise de ranking MGIDI dos genótipos selecionados.....	29
4.5.4. Análise dos pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados.....	30
4.5.5. Ganhos genéticos por características dos genótipos selecionados.....	30
4.5.6. Eficiência agronômica no uso de nitrogênio e desempenho produtivo de genótipos de milho.....	32
4.6. Discussão.....	33
4.7. Conclusões.....	35
4.8. Referências Bibliográficas.....	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
ANEXOS.....	40

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura	Página
1 Ranking dos genótipos de milho com base no índice MGIDI sob diferentes condições diferentes: A) genótipos avaliados em casa de vegetação em duas concentrações de sais; B) genótipos avaliados em sequeiro com alta dose de N e C) genótipos avaliados em sequeiro com baixa dose de N.....	29
2 Contribuição relativa dos fatores obtidos para o índice MGIDI dos genótipos de milho selecionados sob diferentes condições diferentes: A) genótipos avaliados em casa de vegetação em duas concentrações de sais; B) genótipos avaliados em sequeiro com alta dose de N e C) genótipos avaliados em sequeiro com baixa dose de N.....	30
3 Ganhos genéticos dos genótipos de milho selecionados sob diferentes condições diferentes: A) genótipos avaliados em casa de vegetação em duas concentrações de sais; B) genótipos avaliados em alta dose de N e C) genótipos avaliados em baixa dose de N.....	31
4 Dispersão dos genótipos de milho quanto à eficiência agronômica no uso de nitrogênio e à resposta produtiva sob condições de baixa e alta disponibilidade de N, evidenciando o desempenho produtivo e a eficiência de utilização do nutriente.....	32

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela	Página
1 Características agronômicas avaliadas em genótipos de milho (<i>Zea mays</i> L.) cultivados em casa de vegetação sob irrigação com águas salinas de V1 a V8, em Nossa Senhora da Glória, SE, na safra 2024.....	23
2 Características agronômicas avaliadas em genótipos de milho (<i>Zea mays</i> L.) cultivados em campo sob condições de campo, em Nossa Senhora da Glória, SE, na safra 2024.....	25
3 Caracterização do ideótipo desejável para as características agronômicas: matéria verde das folhas (MVF), matéria seca das folhas (MSF), matéria verde do colmo (MVC), matéria seca do colmo (MSC), matéria verde das raízes (MVR), matéria seca das raízes (MSR), diâmetro do colmo (DC), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE), avaliadas em casa de vegetação, bem como número de espigas por parcela (NEP), peso de espiga (PE), número de grãos por fileira (NGF), altura de planta (AP), altura de espiga (AE), florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF), produtividade de grãos (PG) e posição relativa da espiga (PRE), avaliadas no experimento em campo.....	26
4 Resumo da análise de variância relativa às características agronômicas avaliadas em progênies de meios-irmãos de milho, conduzidas em condições de casa de vegetação sob salinidade de água de V1 a V8 e em campo sob condição de sequeiro, na safra de 2024, em Nossa Senhora da Glória, SE.....	27
5 Autovalores, variância explicada, cargas fatoriais após rotação varimax e communalidades obtidas na análise fatorial relativas às características matéria verde e seca das folhas (MVF e MSF), matéria verde e seca do colmo (MVC e MSC), matéria verde e seca das raízes (MVR e MSR), diâmetro do colmo (DC), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE), avaliadas em casa de vegetação sob irrigação com águas salinas durante V1 a V8, número de espigas por parcela (NEP), peso de espiga (PE), número de grãos por fileira (NGF), altura de planta (AP), altura de espiga (AE), florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF), produtividade de grãos (PG) e posição relativa da espiga (PRE), avaliadas no experimento em condição em campo das plantas de milho sob níveis de nitrogênio.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de carbono
MGIDI	Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index
EUNg	Eficiência no uso do nitrogênio
PopTol 2	População Tolerante 2
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
PMI	Progenies de meios-irmãos
dS m ⁻¹	DeciSiemens por metro
MAP	Superfosfato monoamônico
g	Gramas
KCl	Cloreto de potássio
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
CEa	Condutividade elétrica
m	Metros
cm	Centímetros
kg	Quilogramas
DC	Diâmetro do colmo
MVF	Matéria verde das folhas
MVC	Matéria verde do colmo
MVR	Matéria verde das raízes
MSF	Matéria seca das folhas
MSC	Matéria seca do colmo
MSR	Matéria seca das raízes
EE	Extravasamento de Eletrólitos
TRA	Teor Relativo de água
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
kg ha ⁻¹	Quilogramas por hectare
FM	Florescimento masculino
FF	Florescimento feminino
AP	Altura de planta
AE	Altura de espiga
PRE	Posição relativa da espiga
NEP	Número de espigas por parcela
NGF	Número de grãos por fileiras
PE	Peso de espiga
PG	Produtividade de grãos
EAN	Eficiência Agronômica do Nitrogênio
unid.	Unidade
FA1	Fator 1
FA2	Fator 2
FA3	Fator 3

RESUMO

ARAGÃO, Nartênia Susane Costa. **Índice MGIDI na seleção de genótipos de milho com melhor eficiência no uso de nitrogênio e tolerância à salinidade.** São Cristóvão: UFS, 2026. 50p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).*

O milho (*Zea mays* L.) desempenha papel fundamental na economia e na sociedade, sendo amplamente utilizado na alimentação humana e na nutrição animal. Em regiões semiáridas, as altas taxas de evapotranspiração favorecem a concentração de sais no solo, tornando a salinidade um problema recorrente e um dos fatores limitantes à produção agrícola. Esse estresse afeta negativamente a absorção e a assimilação de nutrientes pelas plantas, especialmente do nitrato, principal forma de nitrogênio disponível no solo, comprometendo o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do milho. Apesar da relevância do tema, ainda são escassos os estudos voltados à identificação de genótipos que associem eficiência no uso de nitrogênio e à tolerância à salinidade, sobretudo em condições de ambientes semiáridos. Nesse contexto, objetivou-se selecionar progênies de meios-irmãos de milho com desempenho superior quanto à eficiência no uso de nitrogênio e à tolerância à salinidade, por meio do índice MGIDI (Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index). Os experimentos foram conduzidos durante a safra de 2024, na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus Sertão, em duas condições experimentais: ambiente irrigado (casa de vegetação) e condição de sequeiro (campo). Em casa de vegetação, adotou-se o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 21 (genótipos) $\times$ 2 (níveis de salinidade de água), com três repetições. Em campo, o experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em parcelas subdivididas, em esquema 35 (genótipos) $\times$ 2 (níveis de nitrogênio), com três repetições. Em casa de vegetação, foram avaliadas variáveis morfológicas e fisiológicas, enquanto, em campo, foram analisadas características morfofisiológicas e pós-colheita. Os dados foram submetidos à análise de variância e à aplicação do índice MGIDI. A análise de variância indicou diferenças significativas na interação entre os genótipos e níveis de salinidade, no experimento em casa de vegetação, e para as fontes de variação de genótipos e níveis de nitrogênio, no experimento em campo. A análise fatorial agrupou as variáveis em dois fatores para o experimento em casa de vegetação e em três fatores para o experimento em campo, explicando 82,80% e 80,60% da variância total dos dados, respectivamente. No experimento em casa de vegetação, o genótipo G9_C2 destacou-se por apresentar maior tolerância fisiológica à salinidade. Em campo, os genótipos G27, G4, G35 e G31 apresentaram elevado desempenho produtivo e maior eficiência agrônômica no uso de nitrogênio em condições contrastantes de disponibilidade do nutriente. A seleção multivariada por meio do índice MGIDI mostrou-se eficiente na identificação de genótipos superiores, evidenciando o potencial dos genótipos selecionados para programas de melhoramento genético de milho voltados à eficiência no uso de nitrogênio e à tolerância à salinidade.

Palavras-chave: EAN, Estresse salino, Melhoramento vegetal, Multivariada, Variabilidade, *Zea mays* L.

* Comitê Orientador: Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira – UFS (Orientador).

ABSTRACT

ARAGÃO, Nartênia Susane Costa. **MGIDI index in the selection of maize genotypes with better nitrogen use efficiency and salinity tolerance.** São Cristóvão: UFS, 2026. 50p. (Dissertation - Master of Science in Agriculture and Biodiversity).*

Maize (*Zea mays* L.) plays a fundamental role in the economy and society, being widely used for human consumption and animal feed. In semi-arid regions, high evapotranspiration rates favor salt accumulation in the soil, making salinity a recurrent problem and one of the main limiting factors for agricultural production. This stress negatively affects nutrient uptake and assimilation by plants, especially nitrate, the main form of nitrogen available in the soil, compromising maize growth, development, and productivity. Despite the relevance of this topic, studies aimed at identifying genotypes that combine nitrogen use efficiency and salinity tolerance, particularly under semi-arid conditions, are still scarce. In this context, the objective of this study was to select maize half-sib progenies with superior performance regarding nitrogen use efficiency and salinity tolerance using the MGIDI index (Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index). The experiments were conducted during the 2024 growing season at the Experimental Farm of the Federal University of Sergipe (UFS), Sertão Campus, under two experimental conditions: irrigated environment (greenhouse) and rainfed condition (field). In the greenhouse experiment, a randomized block design was adopted in a 21×2 factorial scheme (genotypes $\times$ salinity levels), with three replications. In the field experiment, a randomized block design with split plots was used in a 35×2 factorial scheme (genotypes $\times$ nitrogen levels), also with three replications. In the greenhouse, morphological and physiological traits were evaluated, while in the field, morphophysiological and post-harvest traits were analyzed. The data were subjected to analysis of variance, factor analysis, and application of the MGIDI index. The analysis of variance indicated significant differences for the interaction between genotypes and salinity levels in the greenhouse experiment, as well as for the sources of variation genotype and nitrogen levels in the field experiment. Factor analysis grouped the variables into two factors for the greenhouse experiment and three factors for the field experiment, explaining 82.80% and 80.60% of the total data variance, respectively. In the greenhouse experiment, genotype G9_C2 stood out for presenting greater physiological tolerance to salinity. In the field, genotypes G27, G4, G35, and G31 showed high productive performance and greater agronomic nitrogen use efficiency under contrasting nitrogen availability conditions. Multivariate selection using the MGIDI index proved to be efficient in identifying superior genotypes, highlighting the potential of the selected genotypes for maize breeding programs focused on nitrogen use efficiency and salinity tolerance.

Keywords: Agronomic efficiency, Saline stress, Plant breeding, Multivariate, Variability, *Zea mays* L.

* Guidance Committee: Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira (Advisor).

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae e originário da América Central, está entre os cereais mais cultivados no mundo. No Brasil, essa cultura desempenha um papel fundamental na economia, sendo amplamente utilizada tanto na alimentação humana quanto na animal (Pinheiro *et al.*, 2021; Artuzo *et al.*, 2019; Borém, Miranda e Fritsche Neto, 2021).

Na região semiárida, a cultura do milho é uma das principais fontes de renda e subsistência para os produtores locais. Entretanto, as condições climáticas adversas, caracterizadas por altas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, favorecem o acúmulo de sais no solo, comprometendo o desenvolvimento das plantas e limitando o potencial produtivo da cultura. Esse processo de salinização resulta em reduções significativas na produtividade agrícola, impondo desafios aos produtores (Lopes, Dantas e Ferreira, 2019; Nogueira *et al.*, 2023).

De acordo com Wang *et al.* (2023), a salinidade do solo é um estresse abiótico de grande relevância global, com impactos ambientais e econômicos significativos, especialmente em regiões áridas e semiáridas. O excesso de sais altera as interações hídricas e os processos de absorção e utilização de nutrientes pelas plantas, afetando diversas atividades fisiológicas. Entre os efeitos observados, destaca-se o fechamento parcial dos estômatos, que limita a absorção de CO₂, reduzindo a taxa fotossintética e, consequentemente, a produtividade das culturas (Chattha *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a compreensão dos mecanismos fisiológicos associados à tolerância à salinidade torna-se essencial para a seleção de genótipos mais adaptados. Estratégias como a exclusão de íons, o armazenamento de Na⁺ e a manutenção do estado hídrico celular são determinantes para a sobrevivência e o crescimento das plantas sob condições salinas (Munns e Tester, 2008).

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo componente estrutural de aminoácidos, proteínas, enzimas e da clorofila, além de atuar diretamente nos processos fotossintéticos (Taiz e Zeiger, 2017). Nas últimas décadas, o aumento significativo da produtividade do milho está relacionado com os avanços do melhoramento genético e do manejo eficiente de fertilizantes nitrogenados (Albarenque, Basso e Melchiori, 2024).

Além de sua função nutricional, o nitrogênio tem sido utilizado como mitigador da salinidade, desempenhando papel essencial na formação de proteínas, enzimas e componentes celulares, sendo determinante para a produção agrícola, especialmente quando associado à eficiência no uso de nitrogênio (EUN) (Munns e Tester, 2008).

Genótipos com elevada EUN tendem a apresentar maior capacidade de absorção, assimilação e remobilização do nitrogênio disponível, o que favorece a manutenção dos processos fisiológicos essenciais. Em condições de estresse salino, essa eficiência está diretamente relacionada ao equilíbrio iônico, no aumento da assimilação de nutrientes e na regulação do metabolismo do nitrogênio, fatores que são considerados determinantes para a tolerância à salinidade (Munns e Tester, 2008; Adeoluwa *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2025).

Nesse sentido, programas de melhoramento genético voltados à eficiência no uso de nitrogênio e à tolerância à salinidade tornam-se estratégicos para assegurar o desempenho produtivo dos genótipos em condições limitantes (Mostafa *et al.*, 2021).

Para apoiar a seleção de genótipos superiores, a aplicação de índices de seleção multivariada tem sido amplamente utilizada. Esses índices permitem identificar e selecionar genótipos mais próximos ao ideótipo desejado, considerando múltiplas características (Krause *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2023). O MGIDI (Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index) destaca-se por possibilitar uma avaliação integrada de características morfofisiológicas, evitando decisões baseadas em variáveis isoladas e proporcionando uma seleção mais robusta e precisa (Olivoto e Nardino, 2020).

Nas regiões semiáridas, os programas de melhoramento genético no milho têm desempenhado papel estratégico para a segurança alimentar e a sustentabilidade agrícola, pois permitem a obtenção de genótipos adaptados às condições locais e com capacidade de expressar alto potencial produtivo mesmo sob estresse hídrico, nutricional ou salino. Pesquisas conduzidas pelo Grupo de Estudos em Melhoramento Vegetal do Semiárido (GEMS), vinculado à Universidade Federal de Sergipe, têm investigado alternativas para o desenvolvimento de genótipos de milho adaptados à região, conforme demonstram Carvalho *et al.* (2020), Silveira *et al.* (2021) e Santos *et al.* (2023).

Dessa forma, objetivou-se selecionar progênies de meios-irmãos de milho com desempenho superior quanto à eficiência no uso de nitrogênio e à tolerância à salinidade, por meio da aplicação do índice MGIDI.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância e aspectos gerais da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais que se tornou de maior relevância mundialmente, destacando-se pelo seu amplo potencial de uso. A cultura é empregada na alimentação humana, na produção de ração animal e na indústria de bioenergia, desempenhando papel estratégico na segurança alimentar e na economia global (Erenstein *et al.*, 2022).

No Brasil, o milho está entre os grãos mais produzidos, desempenhando papel fundamental na economia nacional. Na safra 2024/2025, a produção nacional superou 100 milhões de toneladas, com produtividade média de 6.457 kg ha⁻¹ (Conab, 2026). Na região Nordeste, a produtividade média foi 3.351 kg ha⁻¹, com destaque para os estados de Sergipe, Maranhão, Alagoas e Piauí, evidenciando a relevância da cultura do milho para a economia local.

Do ponto de vista fisiológico, o milho apresenta metabolismo fotossintético do tipo C4, caracterizado por sua eficiência no uso da radiação solar, o que contribui significativamente para a expansão de seu cultivo em diferentes regiões do Brasil. Esse desempenho está diretamente relacionado ao elevado potencial produtivo da cultura e à sua capacidade de adaptação a distintas condições ambientais (Couto *et al.*, 2023; Maranhão *et al.*, 2025).

2.2. Estresse salino em plantas de milho

A salinidade do solo destaca-se como um dos principais estresses abióticos que limitam a produtividade agrícola, especialmente em regiões áridas e semiáridas. Nessas áreas, a combinação de altas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos favorece o acúmulo de sais no solo (Nguyen *et al.*, 2021), comprometendo suas propriedades físico-químicas e reduzindo a capacidade de sustentação no crescimento da planta (Demo *et al.*, 2025).

O estresse salino afeta diretamente o crescimento vegetal ao reduzir o potencial hídrico do solo, dificultando a absorção de água e nutrientes. Como consequência, ocorrem distúrbios fisiológicos, incluindo desequilíbrio iônico, alterações no potencial hídrico, deficiências nutricionais, fechamento estomático, redução da atividade fotossintética e da alocação de assimilados (Arruda *et al.*, 2025).

Além disso, a presença de íons na água de irrigação pode intensificar os efeitos da salinidade por meio da fitotoxicidade causada por íons, aumentando os danos metabólicos, anatômicos e fisiológicos nas plantas e resultando em redução da produtividade agrícola (Ribeiro e Souza-Irmão, 2022). Assim, a salinização dos solos é um dos principais fatores limitantes ambientais à produção agrícola em regiões áridas e semiáridas (Nguyen *et al.*, 2021).

2.3. Tolerância do milho à salinidade

O milho é considerado moderadamente sensível à salinidade da água, apresentando tolerância a níveis de condutividade elétrica de até 1,7 dS m⁻¹, o que lhe permite manter o desenvolvimento mesmo em condições moderadas de estresse salino (Ben-Asher *et al.*, 2021). No entanto, valores superiores a esse limiar resultam em reduções significativas no desempenho produtivo da cultura.

Estudos conduzidos no semiárido brasileiro evidenciam que a elevação da condutividade elétrica da água de irrigação compromete significativamente os componentes de rendimento do milho. Nesse sentido, Rodrigues *et al.* (2020) observaram decréscimos significativos no desempenho produtivo quando as plantas foram submetidas a níveis superiores de 2,0 dS m⁻¹.

Diante desse cenário, diferentes estratégias têm sido adotadas para mitigar os efeitos do estresse salino, com destaque para o melhoramento genético. A seleção de genótipos tolerantes tem contribuído para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas a estresses abióticos. Ressalta-se que a tolerância é uma característica quantitativa, controlada por múltiplos genes (Munns e Tester, 2008; Fleury *et al.*, 2010; Atta *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2025).

2.4. Nitrogênio na cultura do milho e eficiência no seu uso

O milho é uma cultura altamente exigente em nutrientes, destacando-se o nitrogênio (N) como o elemento requerido em maior quantidade para alcançar elevados resultados na produtividade (Ribeiro *et al.*, 2024). Esse nutriente desempenha funções essenciais no metabolismo da planta, participando da síntese de aminoácidos, proteínas e clorofila, além de integrar enzimas responsáveis pelos processos fotossintético e energético (Okumura *et al.*, 2011).

A demanda por nitrogênio varia ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho, sendo mais elevada entre os estádios vegetativo V4 e V8. A limitação desse nutriente compromete o crescimento vegetativo, reduz a eficiência fisiológica e, consequentemente, resulta em perdas significativas no desempenho produtivo final do milho (Taiz e Zeiger, 2017; Ribeiro *et al.*, 2024).

No Brasil, os fertilizantes nitrogenados apresentam alta solubilidade, promovendo a rápida disponibilização do nitrogênio nas formas nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), que são prontamente absorvidas pelas plantas. Entretanto, essas formas também estão sujeitas a perdas no sistema solo-planta, principalmente por volatilização, lixiviação e desnitrificação. A ureia convencional destaca-se como a principal fonte de N utilizada, devido à sua elevada concentração do elemento, em torno de 45%, e ao menor custo. Contudo, essa fonte está associada a expressivas perdas por volatilização, o que compromete sua eficiência agronômica (Branco *et al.*, 2024).

O manejo adequado da adubação nitrogenada é essencial para a redução dos impactos ambientais associados ao uso de fertilizantes. Nesse contexto, o melhoramento genético voltado ao aumento da eficiência no uso de nitrogênio surge como uma estratégia promissora para reduzir a dependência de fertilizantes e mitigar os efeitos ambientais adversos (DoVale *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2013).

De acordo com Martínez-Dalmau *et al.* (2021), a adoção consciente de fertilizantes nitrogenados pelos agricultores pode ser favorecida por genótipos que apresentem alta eficiência no uso de nitrogênio (EUN), diminuindo os efeitos dos impactos ambientais. A EUN é entendida como a capacidade de determinado genótipo de absorver, assimilar e remobilizar o nitrogênio de forma eficiente, resultando em maior produtividade (Moll *et al.*, 1982; Carvalho *et al.*, 2023).

No milho, a EUN está mais associada à capacidade dos genótipos de manter a produtividade sob baixa disponibilidade de N do que à aplicação de altas doses de fertilizante. Genótipos eficientes apresentam bom desempenho produtivo mesmo com menores quantidades de N aplicadas. Estudos indicam que essa eficiência tende a ser maior em ambientes com baixa oferta de nitrogênio e diminui com o aumento das doses, conforme destacado por Adeoluwa *et al.* (2022).

Uma abordagem clássica para quantificar a EUN foi proposta por Moll *et al.* (1982) explicam que a eficiência no uso de nitrogênio pode ser obtida pela quantidade de grãos produzidos por unidade de nitrogênio disponível no solo, expressa pela relação Gw/Ns , em que Gw é a produção de grãos e Ns a quantidade de nitrogênio aplicada à planta. Essa abordagem permite quantificar o desempenho produtivo do milho em função da disponibilidade de nitrogênio, integrando aspectos fisiológicos e agrônômicos relevantes para a seleção de genótipos mais eficientes.

Assim, o melhoramento genético é fundamental para identificar e selecionar genótipos superiores para utilização em programas voltados para a eficiência no uso de nitrogênio (DeBruin *et al.*, 2017; Asibi, Chai e Coulter, 2019; Wani *et al.*, 2021).

2.5. Nitrogênio como atenuador do estresse salino

O nitrogênio (N) exerce função fundamental na mitigação dos efeitos do estresse salino em plantas, uma vez que está diretamente envolvido em processos fisiológicos essenciais ao crescimento e à atividade fotossintética. Em condições salinas, o fornecimento adequado de N pode reduzir os danos causados pelo excesso de sais no solo e na água de irrigação (Cassman *et al.*, 2022).

Esse nutriente contribui para o ajuste osmótico celular por meio da síntese de compostos orgânicos, como aminoácidos, que auxiliam na manutenção hídrica. Além disso, o nitrogênio está associado ao aumento da atividade do sistema antioxidante, reduzindo a formação de espécies reativas de oxigênio associadas ao estresse oxidativo, resultando em melhor desempenho fisiológico e crescimento vegetal (Figueiredo *et al.*, 2023).

Pesquisas envolvendo a interação entre o nitrogênio e a salinidade são determinantes para o desempenho do milho, evidenciando que uma nutrição nitrogenada adequada favorece a tolerância ao estresse salino. Zhang *et al.* (2025) observaram que genótipos de milho submetidos à salinidade apresentaram melhor desempenho fisiológico quando cultivados sob níveis adequados de nitrogênio.

Nesse contexto, torna-se estratégico o desenvolvimento de genótipos de milho que combinem elevada eficiência no uso de nitrogênio e tolerância à salinidade, visando maior estabilidade produtiva em ambientes limitantes.

2.6. Melhoramento genético para tolerância à salinidade no milho

O melhoramento genético voltado à tolerância à salinidade tem se consolidado como uma das principais estratégias para mitigar os impactos desse estresse abiótico na cultura do milho. A salinidade afeta múltiplos processos fisiológicos e é fortemente influenciada pela interação genótipo $\times$ ambiente (Munns e Tester, 2008). Nesse contexto, a seleção de genótipos superiores constitui etapa fundamental para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas a ambientes salinos.

Estudos recentes demonstram que a existência de variabilidade genética significativa para tolerância à salinidade em milho possibilita a obtenção de ganhos genéticos. Essa variabilidade está associada à exclusão de íons tóxicos (Na^+ e Cl^-), à manutenção da homeostase iônica (relação K^+/Na^+), ao ajuste osmótico e à maior eficiência no uso da água, os quais contribuem para a manutenção do crescimento e da produtividade em condições salinas (Ismail e Horie, 2017; Melo *et al.*, 2025).

A seleção de genótipos tolerantes pode ser realizada com base em características morfofisiológicas e produtivas, incluindo biomassa, altura de plantas, teor relativo de água e extravasamento de eletrólitos. Genótipos de milho submetidos a diferentes níveis de salinidade apresentam respostas diferenciadas, indicando a possibilidade de exploração dessa variabilidade em programas de melhoramento (Rizk *et al.*, 2024).

2.7. Melhoramento genético para eficiência no uso de nitrogênio no milho

A eficiência no uso de nitrogênio (EUN) tem se consolidado como uma das principais estratégias para aumentar a produtividade agrícola, ao mesmo tempo em que contribui para a redução dos impactos ambientais associados ao uso intensivo de fertilizantes nitrogenados (Carvalho *et al.*, 2023).

Na cultura do milho, o melhoramento genético destaca-se como uma abordagem promissora para o incremento da EUN, possibilitando a obtenção de genótipos capazes de manter elevado desempenho produtivo mesmo em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio no solo (Adeoluwa *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de genótipos adaptados à baixa disponibilidade de nitrogênio configura-se como uma estratégia viável, contribuindo para maior estabilidade produtiva em sistemas de baixa tecnologia (Souza *et al.*, 2008; Soares *et al.*, 2011). Além disso, a existência de ampla variabilidade genética para a EUN no milho possibilita a obtenção de ganhos genéticos consistentes por meio da seleção, permitindo o avanço no desenvolvimento de genótipos mais eficientes e adaptados a condições limitantes de nutrientes (Souza *et al.*, 2009; Cancellier *et al.*, 2011).

A seleção de genótipos com maior EUN torna-se mais eficaz para a redução dos custos de produção, ao diminuir a dependência de fertilizantes nitrogenados (Majerowicz *et al.*, 2002). Nesse contexto, diferentes métodos de melhoramento têm sido empregados, destacando-se a seleção recorrente, cujo objetivo é aumentar gradualmente a frequência de alelos favoráveis nas populações.

Dentre as abordagens da seleção recorrente, a seleção intrapopulacional vem sendo amplamente adotada devido à sua simplicidade e à sua aplicabilidade a múltiplas características de interesse agrônomo (Hallauer *et al.*, 1988; Heinz *et al.*, 2012). No caso do milho, a seleção baseada em progênies de meios-irmãos destaca-se como uma das metodologias mais utilizadas, por possibilitar a exploração eficiente da variabilidade genética e a obtenção de ganhos genéticos contínuos ao longo dos ciclos de seleção (Palomino *et al.*, 2000; Heinz *et al.*, 2012).

2.8. Melhoramento genético em regiões semiáridas

As regiões semiáridas são caracterizadas por elevadas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, fatores que contribuem para o acúmulo de sais no solo. Nessas condições, o estresse salino torna-se um dos principais fatores limitantes ao crescimento e à produção das culturas, evidenciando a necessidade por materiais genéticos mais tolerantes (Andrade *et al.*, 2018).

A seleção de genótipos superiores assume papel fundamental nos programas de melhoramento genético, visto que o sucesso desses programas está diretamente relacionado à identificação de indivíduos superiores. A escolha adequada do material genético é crucial, correspondendo a metade do desempenho produtivo final (Ferreira, Paterniani e Santos, 2010; Prasanna *et al.*, 2021).

Os avanços no melhoramento genético têm permitido o desenvolvimento de cultivares com maior potencial produtivo, ciclos adaptados, resistência a doenças e pragas, além de estresses abióticos, como salinidade e seca (Prasanna *et al.*, 2021). No entanto, nas condições do semiárido, devido às condições irregulares de precipitação, as lavouras enfrentam dificuldades para atingir o máximo potencial produtivo (Lopes, Dantas e Ferreira, 2019).

Programas de melhoramento conduzidos em ambientes sujeitos a variações climáticas são mais desafiadores, exigindo maior tempo e rigor experimental para que os melhoristas obtenham os resultados desejados (Paterniani *et al.*, 2019). Estudos recentes destacam que a integração entre características como eficiência no uso de nitrogênio, tolerância à salinidade e adaptação ao estresse hídrico é fundamental para o desenvolvimento de genótipos mais resilientes e produtivos em condições semiáridas (Ren *et al.*, 2025).

2.9. Índices de seleção multivariada aplicados à seleção de genótipos ideótipos

A seleção de genótipos superiores em programas de melhoramento genético constitui um desafio complexo, uma vez que envolve a avaliação simultânea de múltiplas características, demandando metodologias que possam auxiliar o melhorista na tomada de decisões. Nesse contexto, análises multivariadas têm sido amplamente utilizadas como ferramentas para auxiliar na tomada de decisão (Krause *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2023).

Com o intuito de simplificar esse processo, foram desenvolvidos os índices de seleção multivariados, que permitem identificar genótipos mais próximos do ideótipo, prevendo os ganhos genéticos e o aumento da eficiência dos programas de melhoramento (Lessa *et al.*,

2010; Rocha *et al.*, 2018; Lessa, Ledo e Santos, 2010). Esses índices possibilitam a combinação simultânea de múltiplas características agronômicas, mesmo quando não possuam correlação entre elas, viabilizando a seleção de genótipos mais adaptados e produtivos (Oliveira *et al.*, 2008; Sousa *et al.*, 2021; Ramos *et al.*, 2022).

Os índices multivariados permitem priorizar características de interesse econômico, agrônomo ou de adaptação a estresses abióticos, como seca e salinidade, tornando-os ferramentas indispensáveis em programas de melhoramento em regiões semiáridas.

Entre os índices multivariados mais recentes, destaca-se o MGIDI (Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index), proposto por Olivoto e Nardino (2020). Esse índice baseia-se na mensuração da distância de cada genótipo em relação ao ideótipo definido, integrando, simultaneamente, múltiplas características. Assim, quanto menor a distância, mais próximo o genótipo está do ideótipo, indicando maior superioridade e adaptação do genótipo avaliado.

Estudos recentes têm demonstrado a eficiência do MGIDI na seleção de genótipos em diferentes culturas, evidenciando seu potencial como ferramenta robusta em programas de melhoramento genético (Olivoto e Nardino, 2020; Klein *et al.*, 2023). Dessa forma, a aplicação de índices de seleção multivariada representa uma estratégia eficiente para selecionar genótipos superiores, permitindo ao melhorista priorizar caracteres de interesse, otimizar o uso de recursos e obter avanços genéticos consistentes em programas de melhoramento de milho e outras culturas de importância econômica.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEOLUWA, O. O.; MUTENGWA, C. S.; CHIDUZA, C.; TANDZI, N.L. Nitrogen use efficiency of quality protein maize (*Zea mays* L.) genotypes. **Agronomy**, v. 12, n. 5, p. 1118, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12051118.
- ALBARENQUE, S.; BASSO, B.; MELCHIORI, R. Emergence delay effect on maize (*Zea mays* L.) nitrogen uptake. **Agronomy Journal**, v. 116, n. 6, p. 2872-2884, 2024. DOI: 10.1002/agj2.21678.
- ANDRADE, F. H. A. D.; PEREIRA, W. E.; MORAIS, R. R.; SILVA, A. F. D.; BARBOSA NETO, M. A. Effect of phosphorus application on substrate and use of saline water in sugar-apple seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, p. 190-199, 2018. DOI: 10.1590/1983-40632018v4852035.
- ARRUDA, M. V. D. M.; DIAS, N. D. S.; DE ALBUQUERQUE, C. C.; SALDANHA, E. C. M.; GURGEL, P. H. D. A.; COSTA FILHO, M. F.; SOUZA, M. H. A.; RODRIGUES, N. S.; LIMA, M. A. C.; SOUZA, M. E. C.; MENDONÇA, L. A.; PEREIRA, K. T. O.; MOREIRA, R. C. L.; MORAIS, M. C.; MEDEIROS, J. F. D. Effects of the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Gigaspora albida* (Gigasporaceae) on the Physiology, Growth, and Na/K Balance of Creole Corn (Poaceae) Under Different Salinity Levels. **Agriculture**, v. 15, n. 6, p. 660, 2025. DOI: 10.3390/agriculture15060660.
- ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; OLIVEIRA, L.; SOUZA, Â. R. L. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515-540, 2019. DOI: 10.17765/2176-9168.2019v12n2p515-540.
- ASIBI, A. E.; CHAI, Q.; COULTER, J. A. Mechanisms of nitrogen use in maize. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 775, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9120775.
- ATTA, K.; MONDAL, S.; GORAI, S.; SINGH, A. P.; KUMARI, A.; GHOSH, T.; ROY, A.; HEMBRAM, S.; GAIKWAD, D. J.; MONDAL, S.; BHATTACHARYA, S.; JHA, U. C.; JESPERSEN, D. Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1241736.
- BEN-ASHER, J.; BELTRAO, J.; BEKMIRZAEV, G.; PANAGOPOULOS, T. Crop response to combined availability of soil water and its salinity level: Theory, experiments and validation on golf courses. **Agronomy**, v. 11, n. 10, p. 2012, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11102012.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCH NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 8. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.
- BRANCO, J. S.; MATOS, M. I. S.; LIMA, L. S. F. R.; RIGO, V. M.; CODOGNOTO, L. C.; CONDE, T. T. Volatilização de amônia com utilização de redutores de urease em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu. **Scientific Electronic Archives**, v. 17, n. 4, p. 1-9, 2024. DOI: 10.36560/17420241936
- CANCELLIER, L. L.; AFFÉRRI, F. S.; CARVALHO, E. V.; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no

- Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 139-148, 2011. DOI: 10.1590/S1806-66902011000100018.
- CARVALHO, M. N.; OLIVEIRA, G. H. F.; SOUZA JÚNIOR, C. L.; MÔRO, G. V. Efficiency, responsiveness and stability of maize hybrids under low nitrogen availability conditions. **Científica**, v. 51, p. 1-9, 2023. DOI: 10.5016/1984-5529.2023.v51.1460.
- CARVALHO, M. N.; SILVEIRA, E. S.; MENEZES, B. S.; OLIVEIRA, T. R. A.; OLIVEIRA, G. H. F. Caracterização e divergência genética de genótipos de milho com potencial forrageiro avaliados em região semiárida. **Agri-Environmental Sciences**, v. 6, p. 13, 2020. DOI: 10.36725/agries.v6i0.3659.
- CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. Nitrogen and the future of agriculture: 20 years on. **Ambio**, v. 51, n. 1, p. 17-24, 2022. DOI: 10.1007/s13280-021-01526-w.
- CHATTHA, M. U.; FATIMA, F.; KHAN, I.; DAJI, L.; CHATTHA, M. B.; RASHEED, A.; ELNOUR, R. O.; ASSERI, T. A. Y.; HASHEM, M.; ALHAITHLOUL, H. A. S.; HASSAN, M. U.; QARI, S. H. Nutrient-coated urea mitigates deleterious impacts of salinity and supports wheat performance by enhancing antioxidant activities, photosynthetic performance and nitrogen use efficiency. **Italian Journal of Agronomy**, v. 19, n. 1, 1000003, 2024. DOI: 10.4081/ija.2024.2219.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Boletim da safra de grãos: 4º levantamento – Safra 2025/26**. Brasília, DF: Conab, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/4o-levantamento-safra-2025-26/4o-levantamento-safra-2025-26>. Acesso em: 26 jan. 2026.
- COSTA, C. D. S. R.; LIMA, M. A. C.; LIMA-NETO, F. P.; COSTA, A. E. S.; VILVERT, J. C.; MARTINS, L. S. S.; MUSSER, R.S. Genetic parameters and selection of mango genotypes using the FAI-BLUP multitrait index. **Scientia Horticulturae**, v. 317, 112049, 2023. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112049.
- COUTO, D. P.; OLIVEIRA, W. B. S.; OLIVEIRA, J. S.; GUILHEN, J. H. S.; BERNARDES, C. O.; POSSE, S. C. P.; FERREIRA, M. F. S.; FERREIRA, A. Analysis of the effect of the interaction of genotype and environment on the yield stability of maize varieties; genetic resources for breeding. **Agronomy**, v. 13, n. 8, p. 1970, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13081970.
- DEBRUIN, J. L.; SCHUSSLER, J. R.; MO, H.; COOPER, M. Grain yield and nitrogen accumulation in maize hybrids released during 1934 to 2013 in the US Midwest. **Crop Science**, v. 57, n. 3, p. 1431-1446, 2017. DOI: 10.2135/cropsci2016.08.0704.
- DEMO, A. H.; GEMEDA, M. K.; ABDO, D. R.; GULUMA, T. N.; ADUGNA, D. B. Impact of soil salinity, sodicity, and irrigation water salinity on crop production and coping mechanism in areas of dryland farming. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 8, n. 1, p. e70072, 2025. DOI: 10.1002/agg2.70072.
- DOVALE, J. C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; BERMUDEZ, F.; MIRANDA, G. V. Efeitos genéticos de caracteres associados à eficiência no uso de nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 385-392, 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000300010.

ERENSTEIN, O.; JALETA, M.; SONDER, K.; MOTTALEB, K.; PRASANNA, B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. **Food Security**, v. 14, p. 1295-1319, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.

FERREIRA, E. A.; PATERNINI, M. E. A. G. Z.; SANTOS, F. M. C. Potencial de híbridos comerciais de milho para obtenção de linhagens em programas de melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 304-311, 2010. DOI: 10.5216/pat.v40i3.7017.

FIGUEIREDO, F. R. R.; FATIMA, R. T.; NÓBREGA, J. S.; SILVA, T. I.; FERREIRA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; LEAL, M. P. S.; SOARES, L. A. A.; DIAS, T. J. Morphophysiology and gas exchange of pomegranate under salt stress and foliar application of nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 12, p. 958-965, 2023.

FLEURY, D.; JEFFERIES, S.; KUCHEL, H.; LANGRIDGE, P. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 12, p. 3211-3222, 2010. DOI: 10.1093/jxb/erq152.

HALLAUER, A. R.; RUSSELL, W. A.; LAMKEY, K. R. Corn breeding. **Applied Statistics in Biology**, v. 18, p. 463-564, 1988. DOI: 10.2134/agronmonogr18.3ed.c8.

HEINZ, R.; MOTA, L. H. S.; GONÇALVES, M. C.; VIEGAS NETO, A. L.; CARLESSO, A. Seleção de progênies de meio-irmãos de milho para eficiência no uso de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 731-739, 2012. DOI: 10.1590/S1806-66902012000400015.

ISMAIL, A. M.; HORIE, T. Genomics, physiology, and molecular breeding approaches for improving salt tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, p. 405-434, 2017. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042916-040936.

KRAUSE, D. P.; FACHI, L. R.; DALBOSCO, E. Z.; CAMPOS, T. N. V.; FREITAS, A. P.; LIMA, K. S.; KRAUSE, W. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de maracujazeiro via metodologia REML/BLUP. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 5, p. 42-48, 2021. DOI: 10.36560/14520211268.

LESSA, L. S.; LEDO, C. A. D. S.; SANTOS, V. D. S.; SILVA, S. D. O. E.; PEIXOTO, C. P. Seleção de híbridos diploides (AA) de bananeira com base em três índices não paramétricos. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 525-534, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000300003.

LI, T.; WANG, S.; LIU, S.; ZHANG, X.; DONG, H.; DAI, S.; CHAI, L.; LI, H.; LV, Y.; LI, T.; GAO, Q.; LI, G.; MA, X. Trade-offs of organic amendment input on soil quality and crop productivity in saline-alkali land globally: A meta-analysis. **European Journal of Agronomy**, v. 164, 2025. DOI: 10.1016/j.eja.2024.127471.

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Identificação da influência da pluviometria no rendimento do milho no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3610-3618, 2019. DOI: 10.7127/rbai.v13n5001119.

MAJEROWICZ, N.; PEREIRA, J. M. S.; MEDICI, L. O.; BISON, O.; PEREIRA, M. B.; SANTOS JÚNIOR, U. M. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. **Brazilian Journal of Botany**, v. 25, p. 129-136, 2002. DOI: 10.1590/S0100-84042002000200002.

MARANHÃO, R. L. A.; GUIMARÃES, R. F.; HERMUCHE, P. M.; GOMES, R. A. T.; PERIPOLLI, V.; TANURE, C. B.; CARVALHO, O. L. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MCMANUS, C. Growth and acceleration analysis of the soybean, sugar cane, maize and cattle production in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 27, n. 5, p. 11697-11742, 2025. DOI: 10.1007/s10668-023-04377-5.

MARTÍNEZ-DALMAU, J.; BERBEL, J.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R. Nitrogen fertilization: a review of the risks associated with the inefficiency of its use and policy responses. **Sustainability**, v. 13, n. 10, p. 5625, 2021. DOI: 10.3390/su13105625.

MELO, S. S.; BARBOSA, R. T.; OLIVEIRA, B. R.; AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. A dataset of 15 maize hybrids subjected to drought, salinity, and aluminum toxicity stresses. **Trends in Agricultural and Environmental Sciences**, p. e250002-e250002, 2025. DOI: 10.46420/TAES.e250002.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 3, p. 562-564, 1982. DOI: 10.2134/agronj1982.00021962007400030037x.

MOSTAFA, H. H.; LI, B.; ZHU, X.; SONG, C. P. Nitrogen assimilation under osmotic stress in maize seedlings. **Plant Growth Regulation**, v. 94, p. 87-99, 2021. DOI: 10.1007/s10725-021-00698-5.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.

NGUYEN, H. L.; TRAN, P. D.; TRAN, D. H. Path analysis for agronomic traits and yield of salt tolerant rice cultivars. **Indian Journal of Agricultural Research**, v. 54, n. 1, p. 107-111, 2021. DOI: 10.18805/IJARE.A-431.

NOGUEIRA, D. B.; SILVA, A. O.; GIROLDO, A. B.; DA SILVA, A. P.; COSTA, B. R. Dry spells in a semi-arid region of Brazil and their influence on maize productivity. **Journal of Arid Environments**, v. 209, p. 104892, 2023. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2022.104892.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 4, n. 2, p. 226-244, 2011. DOI: 10.5777/paet.v4i2.1337.

OLIVEIRA, E. J. D.; SANTOS, V. D. S.; LIMA, D. S. D.; MACHADO, M. D.; LUCENA, R. S.; MOTTA, T. B. N.; CASTELLEN, M. D. S. Seleção em progênies de maracujazeiro-amarelo com base em índices multivariados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1543-1549, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008001100013.

OLIVEIRA, L. R.; MIRANDA, G. V.; DE LIMA, R. O.; Fritsche-Neto FRITSCHÉ-NETO, R.; GALVÃO, J. C. C. Nitrogen uptake and utilization efficiency and enzymatic activity in maize genotypes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 614-621, 2013. DOI: 10.1590/S1806-66902013000300025.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. **bioRxiv**, 2020. DOI: 10.1101/2020.07.23.217778.

PALOMINO, E. C.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Tamanho da amostra para avaliação de famílias de meios-irmãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1433-1439, 2000. DOI: 10.1590/S0100-204X2000000700018.

PATERNINI, M. E. A. G. Z.; BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. S.; RODRIGUES, C. S. Estratégias de melhoramento para tolerância à seca em germoplasma de milho tropical. **Singular Meio Ambiente e Agrárias**, v. 1, n. 1, 2019. DOI: 10.33911/singular-maa.v1i1.48.

PINHEIRO, L. S.; GATTI, V. C. M.; OLIVEIRA, J. T.; SILVA, J. N.; SILVA, V. F. A.; SILVA, P. A. Características agroeconômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v. 11, n. 2, p. 13-21, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2237-9290.2021.002.0003.

PRASANNA, B. M.; CAIRNS, J. E.; ZAIDI, P. H.; BEYENE, Y.; MAKUMBI, D.; GOWDA, M.; MAGOROKOSHO, C.; ZAMAN-ALLAH, M.; DAS, B.; VENKATESH, S.; NARESH KUMAR, R. Beat the stress: breeding for climate resilience in maize for the tropical rainfed environments. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 134, n. 6, p. 1729–1752, 2021. DOI: 10.1007/s00122-021-03773-7.

RAMOS, J. P.; CAVALCANTI, J. J.; FREIRE, R. M.; SILVA, C. R.; SILVA, M. D. F.; SANTOS, R. C. D. Índices de seleção e pesos econômicos aplicados ao melhoramento genético do amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 5, p. 327-334, 2022. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n5p327-334.

REN, S.; BAI, T.; MA, Y.; ZHAO, Y.; CI, J.; REN, X.; ZANG, Z.; MA, C.; XIONG, R.; SONG, X.; YANG, W.; YANG, W. Molecular mechanisms underlying salt tolerance in maize: A combined transcriptome and metabolome analysis. **Plants**, v. 14, n. 13, p. 2031, 2025. DOI: 10.3390/plants14132031

RIBEIRO, A. A.; SOUZA-IRMÃO, P. L. A adubação nitrogenada atenua os efeitos da salinidade no milho. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 5, n. 5, 2022. DOI: 10.32406/v5n5/2022/47-61/agrariacad.

RIBEIRO, M. C.; GENZ, R.; SANTANA, G. G.; GUIMARÃES, C. R. R. Manejo de nitrogênio e ciclagem de nutrientes na cultura do milho safrinha. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 7, n. 1, 2024.

RIZK, M. S.; ASSAHA, D. V. M.; MEKAWY, A. M. M.; SHALABY, N. E.; RAMADAN, E. A.; EL-TAHAN, A. M.; IBRAHIM, O. M.; METWELLY, H. I. F.; OKLA, M. O.; MARIDUEÑA-ZAVALA, M. G.; ABDELGAWAD, H.; UEDA, A. Comparative analysis of salinity tolerance mechanisms in two maize genotypes: growth performance, ion regulation, and antioxidant responses. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 1, p. 818, 2024.

ROCHA, J. R. A. S.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, P. C. S. Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design. **GCB Bioenergy**, v. 10, n. 1, p. 52-60, 2018. DOI: 10.1111/gcbb.12443.

RODRIGUES, V. D. S.; BEZERRA, F. M. L.; SOUSA, G. G. D.; FIUSA, J. N.; LEITE, K. N.; VIANA, T. V. D. A. Produtividade da cultura do milho irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 101-105, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p101-105.

SANTOS, B. N.; ARAGÃO, N. S. C.; BARRETO, M. S. R.; SANTOS, H. R. A.; SANTOS, J. F. S.; CORDEIRO JUNIOR, J. J. F.; OLIVEIRA, G. H. F. Protocolo de processamento de imagens RGB aéreas para identificação de genótipos potenciais de milho. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 9, n. 2, p. 149-173, 2023.

SILVEIRA, E. S.; CARVALHO, M. N.; LIMA, B. B.; OLIVEIRA, T. R. A.; OLIVEIRA, G. H. F. Caracterização de diferentes classes genéticas de milho cultivados em região semiárida quanto ao potencial forrageiro. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 4, p. e13102, 2021. DOI: 10.1590/S1517-707620210004.1302

SOARES, M. O.; MIRANDA, G. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; MARRIEL, I. E.; GUIMARÃES, C. T. Parâmetros genéticos de uma população de milho em níveis contrastantes de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 168-174, 2011. DOI: 10.1590/S1806-66902011000100021.

SOUSA, L. A.; MACIEL, G. M.; JULIATTI, F. C.; BELOTI, I. F.; CARDOSO, D. B. O.; SIQUIEROLI, A. C. S. Genetic parameters and selection of biofortified lettuce genotypes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 772-778, 2021. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n11p772-778.

SOUZA, A. R. R.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, L. V.; FERREIRA, P. L. Agronomic performance of white maize landrace in different environmental conditions. **Revista Ceres**, v. 55, n. 6, p. 497-503, 2008.

SOUZA, L. V.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; SANTOS, I. C. Combining ability of maize grain yield under different levels of environmental stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1297-1303, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009001000013.

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

WANG, Y.; GAO, M.; CHEN, H.; FU, X.; WANG, L.; WANG, R. Soil moisture and salinity dynamics of drip irrigation in saline-alkali soil of Yellow River basin. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, 2023. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1130455.

WANI, S. H.; VIJAYAN, R.; CHOUDHARY, M.; KUMAR, A.; ZAID, A.; SINGH, V.; KUMAR, P.; YASIN, J. K. Nitrogen use efficiency (NUE): elucidated mechanisms, mapped genes and gene networks in maize (*Zea mays* L.). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 27, n. 12, p. 2875-2891, 2021. 10.1007/s12298-021-01113-z.

ZHANG, S.; ZHAO, P.; ZHOU, G.; CUI, P.; LI, F.; HAN, Y.; WANG, Y. Nitrogen alleviates salt stress in maize: Genotypic variations in ion balance, antioxidant response and nitrogen metabolism. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 229, p. 110516, 2025. DOI: 10.1016/j.plaphy.2025.1.

4. ARTIGO 1

SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE MILHO EM AMBIENTES CONTRASTANTES PARA MELHOR EFICIÊNCIA NO USO DE NITROGÊNIO E TOLERÂNCIA À SALINIDADE

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico *The Journal of Agricultural Science*

RESUMO

A salinidade dos solos em regiões semiáridas é um dos principais fatores limitantes à produção agrícola, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento do milho. Nesse contexto, o nitrogênio tem sido utilizado como uma estratégia para mitigar os efeitos do estresse salino. Entretanto, ainda são escassos os estudos voltados à identificação de genótipos que associem tolerância à salinidade e eficiência no uso de nitrogênio. Objetivou-se selecionar progênies de milho que combinem eficiência no uso de nitrogênio e tolerância à salinidade, utilizando o índice MGIDI como ferramenta de seleção multicausal. Os experimentos foram conduzidos durante a safra de 2024, na Fazenda Experimental da UFS - Campus Sertão, em Nossa Senhora da Glória – SE, sob condições de ambiente protegido e campo. Em casa de vegetação, adotou-se o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 21×2 (genótipos $\times$ níveis de salinidade da água), com três repetições. Em campo, o experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em parcelas subdivididas, no esquema 35×2 (genótipos $\times$ níveis de nitrogênio), com três repetições. Avaliaram-se características morfofisiológicas no experimento em casa de vegetação e morfofisiológicas e pós-colheita em campo. A análise fatorial agrupou as variáveis em dois fatores no experimento em casa de vegetação e em três fatores no experimento em campo, explicando 82,80% e 80,60% da variância total, respectivamente. Em casa de vegetação, o genótipo G9 destacou-se pelo elevado teor relativo de água e menor extravasamento de eletrólitos sob estresse salino. Em campo, os genótipos G27, G4, G35 e G31 apresentaram elevado desempenho produtivo e maior eficiência agrônômica no uso de nitrogênio em condições contrastantes de disponibilidade do nutriente. Dessa forma, os genótipos identificados neste estudo mostram-se promissores para programas de melhoramento genético de milho voltados à tolerância à salinidade e à eficiência no uso de nitrogênio em regiões semiáridas.

Palavras-chave: EAN, Ganho genético, Melhoramento vegetal, Multivariada, *Zea mays* L.

4.1. Introdução

As regiões semiáridas caracterizam-se por elevadas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, condições que favorecem a salinização dos solos e intensificam os efeitos do estresse salino sobre as culturas. Nessas regiões, a salinidade constitui um dos principais fatores limitantes à produção agrícola, tornando imprescindível o desenvolvimento de estratégias que permitam a adaptação das plantas a ambientes com restrição hídrica, nutricional e iônica (Raj *et al.*, 2024).

O milho (*Zea mays* L.) destaca-se como uma das culturas de maior importância econômica e social em escala global, sendo amplamente cultivado em diferentes sistemas de produção e ambientes edafoclimáticos (Alves, Minuzzi e Caron, 2021; Albarenque, Basso e Melchiori, 2024). Entretanto, em regiões semiáridas, o desempenho produtivo do milho é fortemente afetado pela salinidade do solo, em razão de sua elevada exigência nutricional e da sensibilidade da cultura às alterações no balanço hídrico e na disponibilidade de nutrientes (Munns e Tester, 2008; Chattha *et al.*, 2024).

Dentre os nutrientes essenciais, o nitrogênio exerce papel central no crescimento e no desenvolvimento do milho, estando diretamente associado à síntese de clorofila, proteínas, enzimas e compostos osmoticamente ativos (Cassman e Dobermann, 2022). Em condições de estresse salino, a absorção e a assimilação do nitrogênio são frequentemente prejudicadas devido à competição iônica, à redução da atividade radicular e à limitação do transporte de nitrato e amônio. Nesse contexto, genótipos capazes de utilizar o nitrogênio de forma mais eficiente tendem a apresentar maior estabilidade fisiológica e produtiva sob salinidade, evidenciando a eficiência no uso do nitrogênio como um atenuador da tolerância ao estresse salino (Chattha *et al.*, 2024).

O melhoramento genético voltado à eficiência no uso do nitrogênio surge como uma abordagem sustentável para potencializar o efeito mitigador desse nutriente, reduzindo a dependência de insumos externos e promovendo maior desempenho produtivo. Programas de melhoramento genético em regiões semiáridas desempenham, assim, papel estratégico para a segurança alimentar e a sustentabilidade agrícola, ao possibilitarem a obtenção de genótipos capazes de expressar elevado potencial produtivo, mesmo sob condições de salinidade, restrição hídrica e limitações nutricionais (Mostafa *et al.*, 2021).

A seleção de genótipos superiores constitui uma etapa determinante nos programas de melhoramento genético, uma vez que a escolha adequada do material genético responde por parcela significativa do desempenho produtivo final das culturas (Costa *et al.*, 2023). O genótipo ideal reúne uma combinação de múltiplas características, visando maximizar o desempenho agrônômico (Rocha, Machado e Carneiro, 2018). No entanto, a incorporação simultânea de características desejáveis em um único genótipo ainda representa um desafio para os programas de melhoramento.

Nesse cenário, a seleção de múltiplas características torna-se uma etapa crítica, demandando metodologias que permitam esse tipo de avaliação. Assim, o uso de índices de seleção destaca-se como uma estratégia eficiente, por possibilitar a combinação de diferentes características em um único critério de decisão (Costa *et al.*, 2023; Klein *et al.*, 2023). Diante da necessidade de métodos mais robustos e das limitações associadas aos índices de seleção tradicionais, Olivoto e Nardino (2020) propuseram um índice de seleção simultânea baseado em análise fatorial, conhecido como Índice de Distância Genótipo-Ideótipo Multicaracterística (MGIDI). Estudos recentes têm demonstrado a eficiência do MGIDI em diferentes culturas, como cevada (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021), trigo (Lima *et al.*, 2022) e aveia preta (Klein *et al.*, 2023).

Diante do exposto, objetivou-se selecionar progênies de milho que combinem eficiência no uso de nitrogênio e tolerância à salinidade, utilizando o índice MGIDI como ferramenta de seleção multicaracterística.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Descrição das áreas experimentais e material genético

Os experimentos foram conduzidos entre os meses de março e julho de 2024, em casa de vegetação e, entre maio e outubro de 2024, em campo, na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus Sertão, localizada no município de Nossa Senhora da Glória, SE (10°12'18" S, 37°19'39" W; 294 m de altitude).

As progênies avaliadas foram provenientes de uma variedade de polinização aberta pertencente à População Tolerante 2 (PopTol 2), desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a partir do inter cruzamento de híbridos comerciais tolerantes à seca, incluindo a variedade IAC Maya Latente, portadora de gene associado à tolerância a estresses abióticos (Bernini *et al.*, 2016).

Para a obtenção das progênies, foi implantado um campo de polinização no município de Nossa Senhora da Glória, Sergipe (10°13'06" S, 37° 25'13" O e 291 m), durante a safra de 2023. A área experimental foi isolada a uma distância de 200 metros de outros plantios de

milho, visando evitar a contaminação por pólen externo. O plantio foi realizado adotando-se espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,2 m entre plantas, em parcelas constituídas por linhas de 10 m de comprimento.

A seleção inicial das progênes baseou-se em critérios agronômicos, considerando características relacionadas à sanidade de espigas e aos componentes de produtividade, como diâmetro de espiga, número de fileiras de grãos, número de grãos por fileira e comprimento de espiga.

Posteriormente, foram conduzidos ensaios de avaliação em dois ambientes contrastantes, em casa de vegetação (irrigado) e campo (sequeiro), durante o ano agrícola de 2024. Em cada ambiente, foram semeados manualmente 50 genótipos.

Após a colheita dos experimentos e obtenção dos dados fenotípicos, realizou-se o pré-processamento dos dados de forma independente para cada ambiente. Essa etapa incluiu a identificação de valores discrepantes e a exclusão de parcelas perdidas. Ao final, foram selecionados 34 genótipos para o experimento em campo e 21 genótipos para o experimento em casa de vegetação.

Segundo a classificação climática proposta por Novais e Machado (2023), a região possui clima do tipo 'tr**neb', caracterizado como tropical seco, com predominância de solos classificados como Argissolos.

4.3. Experimento I - Casa de vegetação: Avaliação da tolerância à salinidade em estádios iniciais da cultura do milho

4.3.1. Delineamento e instalação experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 21×2 (genótipos $\times$ níveis de salinidade da água), com três repetições. Foram avaliadas 20 progênes de meios-irmãos (PMI) e uma testemunha (Tabela 2A), submetidas a dois níveis de salinidade da água (0,14 e 3,0 dS m⁻¹), totalizando 42 tratamentos e 126 parcelas experimentais.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos de polipropileno, preenchidos com substrato composto por solo e esterco bovino, na proporção 2:1, peneirados e homogeneizados. A adubação de fundação foi realizada com 5 g de fosfato monoamônico (MAP 11-52-00) e 3 g de cloreto de potássio (KCl 00-00-58) por vaso, conforme as exigências nutricionais da cultura do milho, considerando os resultados da análise química do substrato.

A semeadura foi realizada com duas sementes por vaso, depositadas a 2 cm de profundidade. Após a emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, mantendo apenas uma planta por vaso.

4.3.2. Condução das plantas experimentais

A irrigação foi conduzida por lisimetria de pesagem, com reposição diária da lâmina de água evapotranspirada. Para a determinação da capacidade de campo, os vasos foram preenchidos com o substrato e submetidos à saturação por capilaridade, mediante submersão em água até aproximadamente 1/3 da sua altura. Após a visualização da umidade na superfície, os recipientes foram retirados da água e mantidos em drenagem natural até a completa cessação do fluxo. Em seguida, os vasos foram pesados para obtenção do peso na capacidade de campo (Cc).

As plantas foram submetidas a dois níveis de salinidade da água de irrigação. O tratamento controle (0,14 dS m⁻¹) foi composto por água proveniente do sistema de abastecimento local, oriunda do rio São Francisco. O tratamento salino (3,0 dS m⁻¹) foi obtido a partir da diluição de água de poço artesiano tubular, localizado no município de Nossa Senhora da Glória, cuja condutividade elétrica inicial era de 27,5 dS m⁻¹, até atingir o nível desejado.

A irrigação foi realizada manualmente, utilizando proveta graduada, aplicando-se o volume necessário para manter o substrato com umidade próxima à capacidade de campo. A aplicação dos tratamentos salinos teve início no estágio fenológico V1 e foi mantida até o estágio V8. Até o estágio V1, todas as plantas foram irrigadas exclusivamente com água de baixa salinidade.

4.3.3. Características agronômicas avaliadas

Tabela 1 - Características agronômicas avaliadas em genótipos de milho (*Zea mays* L.) cultivados em casa de vegetação sob irrigação com águas salinas de V1 a V8, em Nossa Senhora da Glória, SE, na safra 2024.

Variável	Sigla	Unidade	Forma de avaliação
<i>Morfológica</i>			
Diâmetro do colmo	DC	cm	Medido a 20 cm acima do substrato, utilizando um paquímetro digital.
Matéria verde das folhas	MVF	kg	Obtida após moagem das folhas verde.
Matéria verde do colmo	MVC	kg	Obtida após moagem do colmo.
Matéria verde das raízes	MVR	kg	Obtida após moagem das raízes.
Matéria seca das folhas	MSF	kg	Determinada após secagem dos materiais em estufa de 65 °C até peso constante.
Matéria seca do colmo	MSC	kg	Determinada após secagem dos materiais em estufa de 65 °C até peso constante.
Matéria seca das raízes	MSR	kg	Determinada após secagem dos materiais em estufa de 65 °C até peso constante.
<i>Fisiológicas</i>			
Extravasamento de Eletrólitos	EE	%	Calculado pela equação $EE = (CE1 / CE2) \times 100$, conforme metodologia de Peloso <i>et al.</i> (2017).
Teor Relativo de água	TRA	%	Calculado pela equação $TRA = \{[(MF - MS) / (MT - MS)] \times 100\}$, conforme Barrs e Wheaterley (1962).

Nota: EE = extravasamento de eletrólitos; CE1 = condutividade elétrica da primeira leitura; CE2 = condutividade elétrica da segunda leitura; TRA = teor relativo da água; MF = massa fresca; MS = massa seca e MT = massa túrgida. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2026).

4.4. Experimento II - Campo: Estudo da eficiência do uso de nitrogênio no milho

4.4.1. Delineamento e condução experimental

O experimento foi implantado em delineamento de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, 35 (genótipos) $\times$ 2 (níveis de nitrogênio), com três repetições. Foram avaliadas 34 progênies de meios-irmãos (PMI) e uma testemunha (Tabela 1A), submetidas a dois níveis de nitrogênio (0 e 140 kg ha⁻¹).

As parcelas experimentais corresponderam aos níveis de nitrogênio, sendo dois tratamentos: alto nitrogênio, com aplicação de 140 kg ha⁻¹ de N em cobertura, parcelada em duas etapas (60% na primeira aplicação e 40% na segunda) e baixo nitrogênio, caracterizado pela ausência de adubação nitrogenada em cobertura. As subparcelas foram constituídas pelos genótipos de milho. Cada parcela experimental foi constituída por duas fileiras de 3,0 m de comprimento, totalizando 210 parcelas experimentais, com 30 sementes por parcela. O espaçamento adotado foi de 0,2 m entre plantas e 0,7 m entre fileiras, resultando em uma densidade populacional de 71.428 plantas ha⁻¹.

O preparo da área experimental consistiu em aração seguida por gradagem. A abertura dos sulcos para o plantio foi realizada com o auxílio de um cultivador de quatro linhas acoplado ao trator. Na adubação de fundação, realizou-se aplicação de NPK. Foram disponibilizados 182,82 kg ha⁻¹ de MAP (11-52-00), 30,30 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (00-18-00), além de 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. As recomendações de adubação basearam-se nos resultados da análise de solo e nas exigências nutricionais da cultura do milho.

4.4.2. Características agronômicas avaliadas

Tabela 2 - Características agronômicas avaliadas em genótipos de milho (*Zea mays* L.) cultivados em campo sob condições de campo, em Nossa Senhora da Glória, SE, na safra 2024.

Variável	Sigla	Unidade	Forma de avaliação
<i>Morfológica</i>			
Florescimento masculino	FM	dias	Quando 50% das plantas da parcela apresentaram dispersão do pólen
Florescimento feminino	FF	dias	Quando 50% das plantas da parcela apresentaram a emissão dos estilos-estigmas
Altura de planta	AP	m	Média de cinco plantas aleatórias da parcela, medida do nível do solo até a inserção da folha bandeira
Altura de espiga	AE	m	Média de cinco plantas aleatórias, aferida do nível do solo até a inserção da primeira espiga
Posição relativa da espiga	PRE	m	Relação entre a altura da espiga e altura da planta
<i>Pós-colheita</i>			
Número de espigas por parcela	NEP	unid.	Média de cinco espigas aleatórias da parcela
Número de grãos por fileiras	NGF	unid.	Média de cinco espigas aleatórias da parcela
Peso de espiga	PE	kg	Peso total das espigas por parcela, sem palha
Produtividade de grãos	PG	kg ha ⁻¹	Calculada pela equação $PG = PGTS/ST*QP$, de acordo com Zuber (1942)
Eficiência do N na produção de grãos	EUNg		Obtida pela equação $EUNg = Gw/Ns$, proposta por Moll, Kamprath e Jackson (1982)

Nota: PG = produtividade de grãos (kg ha⁻¹); PGTS = produção de grãos ajustada em 13% de umidade (kg); ST = stand final estimado; QP = quebramento; EUNg = eficiência do nitrogênio na produção de grãos; Gw = produção de grãos e Ns = dose de nitrogênio aplicado no solo. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2026).

4.4.3. Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2024). As pressuposições dos dados coletados foram realizadas por meio de análise de variância (ANAVA), usando o pacote ExpDes.pt (Ferreira, Cavalcanti e Nogueira, 2018) comparados pelo teste F. Em seguida, realizou-se a seleção de genótipos superiores utilizando o índice MGIDI (Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index), adotando-se intensidade de seleção de 20% (Olivoto e Nardino, 2020). O índice foi obtido a partir de análise fatorial baseada na matriz de correlação das variáveis, com extração dos fatores pelo método de componentes principais e rotação Varimax, utilizando o pacote metan (Olivoto e Lúcio, 2020).

A caracterização do ideótipo no índice MGIDI foi definida de acordo com os objetivos de seleção específicos para cada ambiente. Em casa de vegetação, priorizaram-se maiores valores de matéria fresca e seca de folhas, colmo e raízes, maior diâmetro do colmo e teor relativo de água. Por outro lado, o extravasamento de eletrólitos foi definido como menores valores, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização do ideótipo desejável para as características agrônômicas: matéria verde das folhas (MVF), matéria seca das folhas (MSF), matéria verde do colmo (MVC), matéria seca do colmo (MSC), matéria verde das raízes (MVR), matéria seca das raízes (MSR), diâmetro do colmo (DC), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE), avaliadas em casa de vegetação, bem como número de espigas por parcela (NEP), peso de espiga (PE), número de grãos por fileira (NGF), altura de planta (AP), altura de espiga (AE), florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF), produtividade de grãos (PG) e posição relativa da espiga (PRE), avaliadas no experimento em campo.

Casa de vegetação		Campo	
Características	Desejável	Características	Desejável
MVF	máximo	NEP	máximo
MSF	máximo	PE	máximo
MVC	máximo	NGF	máximo
MSC	máximo	AP	mínimo
MVR	máximo	AE	mínimo
MSR	máximo	FM	mínimo
DC	máximo	FF	mínimo
TRA	máximo	PG	máximo
EE	mínimo	PRE	máximo

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em condição de sequeiro, foi definido o ideótipo o qual prioriza genótipos com maiores valores de número de espigas por parcela (NEP), peso de espiga (PE), número de grãos por fileira (NGF), produtividade de grãos (PG) e posição relativa da espiga (PRE), associados a menores valores de altura de planta (AP), altura de espiga (AE), florescimento masculino (FM) e florescimento feminino (FF) (Tabela 3).

4.5. Resultados

4.5.1. Análise de variância

Observa-se, na Tabela 4, que para o experimento conduzido em casa de vegetação, a interação salinidade*genótipo foi significativa para todas as variáveis, exceto para o diâmetro de colmo (DC), indicando que os genótipos responderam de forma diferenciada às condições de salinidade. Os coeficientes de variação (CV) oscilaram entre 12,43% e 38,75%, indicando precisão experimental de moderada a alta. Por outro lado, no experimento conduzido em condições de sequeiro, indicou significância para as variáveis, exceto para o número de grãos por fileira (NGF), evidenciando diferenças entre os genótipos avaliados. Além disso, os

coeficientes de variação variaram de 1,17% a 19,77%, demonstrando adequada precisão experimental para as características analisadas.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância relativa às características agrônômicas avaliadas em progênies de meios-irmãos de milho, conduzidas em condições de casa de vegetação sob salinidade de água de V1 a V8 e em campo sob condição de sequeiro, na safra de 2024, em Nossa Senhora da Glória, SE.

Casa de vegetação									
FV	GL	QM							
		MVF	MSF	MVC	MSC	MVR	MSR	DC	
Genótipo	20	480,36***	34,14***	1512,67**	28,12***	210,11**	4,02**	0,06 ^{ns}	
Salinidade	1	34160,56***	1635,29***	109136,13***	1104,99***	4857,16**	7,82***	2,26***	
Bloco	2	152,62 ^{ns}	24,59 ^{ns}	3687,77***	48,60**	453,21 ^{ns}	10,04*	0,04 ^{ns}	
Salinidade*Genótipo	20	321,28*	18,51**	2072,64***	33,42***	147,38*	18,52*	0,04 ^{ns}	
Resíduo	65	133,33	8,67	439,22	9,96	83,94	421,15	0,04	
CV (%)		16,85	19,20	14,54	21,98	35,91	38,75	12,43	
Total	108								
Média		70,00	15,13	137,72	13,13	23,26	4,51	1,65	

FV	GL	QM							
		PE	NGF	AP	AE	FM	FF	PRE	PG
Blocos	2	0,64*	119,56 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,05 ^{ns}	17,96*	18,18 ^{ns}	0,085 ^{ns}	3598203,08*
Nutriente (a)	1	90,85***	8701,18*	13,22**	7,30**	297,50**	742,92**	0,17*	514325158,62**
Resíduo a	2	0,03	61,38	0,02	0,02	0,63	2,63	0,02	164787,59
Genótipos (b)	34	0,33***	38,34 ^{ns}	0,06*	0,06***	9,73***	14,55***	0,05***	1891926,58***
Interação (axb)	34	0,12 ^{ns}	38,91 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,75 ^{ns}	4,90 ^{ns}	0,02 ^{ns}	698508,51 ^{ns}
Resíduo b	136	0,11	18,72	0,03	0,02	3,34	5,42	0,02	636883,65
CVa (%)		10,05	10,09	8,96	16,29	1,17	2,37	8,54	10,05
CVb (%)		19,77	8,9	10,19	15,36	2,82	3,41	8,50	19,77
Total	209								
Média		1765,00	36,00	1,89	1,01	67,00	67,00	0,54	4039,43

Campo

QM = quadrado médio; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; MVF = matéria verde das folhas; MSF = matéria seca das folhas; MVC = matéria verde do colmo; MVS = matéria seca do colmo; MVR = matéria verde das raízes; MSR = matéria seca das raízes; DC = diâmetro do colmo; AP = altura da planta; AE = altura da espiga; FM = florescimento masculino; FF = florescimento feminino; NGF = número de grãos por fileira; PE = peso de espiga; PRE = posição relativa da espiga; PG = produtividade de grãos; CV = coeficiente de variação; CVa = coeficiente de variação do resíduo a; CVb = coeficiente de variação do resíduo b; *, **, *** = significativo a 5%, 1% e 0,001% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ^{ns} = não significativo pelo teste F. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2026).

4.5.2. Análise fatorial em ambiente casa de vegetação e sequeiro

No experimento conduzido em casa de vegetação (Tabela 5), a análise fatorial considerou dois fatores com autovalores superiores a 1, os quais explicaram 82,80% da variância total, com média de comunalidade de 0,83. O Fator 1, denominado Biomassa, explicou 69,50% da variância e apresentou elevadas cargas fatoriais para as variáveis de matéria verde e seca de folhas, colmo e raízes, além do diâmetro do colmo.

Tabela 5 - Autovalores, variância explicada, cargas fatoriais após rotação varimax e comunalidades obtidas na análise fatorial relativas às características matéria verde e seca das folhas (MVF e MSF), matéria verde e seca do colmo (MVC e MSC), matéria verde e seca das raízes (MVR e MSR), diâmetro do colmo (DC), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE), avaliadas em casa de vegetação sob irrigação com águas salinas durante V1 a V8, número de espigas por parcela (NEP), peso de espiga (PE), número de grãos por fileira (NGF), altura de planta (AP), altura de espiga (AE), florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF), produtividade de grãos (PG) e posição relativa da espiga (PRE), avaliadas no experimento em condição em campo das plantas de milho sob níveis de nitrogênio.

Casa de vegetação				
Características	Fator		Comunalidade	
	Biomassa	Déficit		
MVF	-0,95	-0,17	0,93	
MSF	-0,95	-0,12	0,92	
MVC	-0,94	-0,11	0,89	
MSC	-0,96	-0,09	0,94	
MVR	-0,91	0,06	0,82	
MSR	-0,93	-0,07	0,88	
DC	-0,92	-0,08	0,85	
TRA	0,10	0,76	0,58	
EE	0,05	0,79	0,63	
Média da comunalidade			0,83	
Autovalores	6,25	1,20		
Variância (%)	69,50	13,30		
Variância acumulada (%)	69,50	82,80		
Campo				
Características	Fator			Comunalidade
	Arquitetura	Precocidade	Produtividade	
NEP	-0,20	-0,02	-0,95	0,95
PE	-0,15	-0,11	-0,96	0,95
NGF	-0,11	-0,48	-0,13	0,26
AP	0,83	-0,11	0,21	0,75
AE	0,98	0,01	0,17	0,98
FM	0,11	-0,91	-0,04	0,85
FF	-0,04	-0,94	0,20	0,93
PG	-0,66	-0,31	0,51	0,79
PRE	-0,88	-0,10	-0,12	0,80
Média da comunalidade				0,81
Autovalores	3,17	2,28	1,80	
Variância (%)	35,20	25,30	20,00	
Variância acumulada (%)	35,20	60,50	80,60	

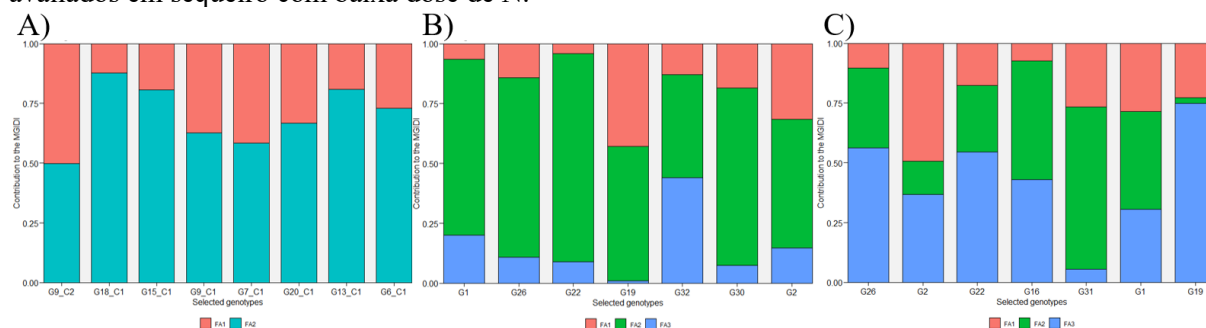
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os genótipos G1, G2, G19, G22 e G26 foram recorrentes entre os sete melhores em ambas as condições de nitrogênio, mantendo valores baixos do índice MGIDI. Em contraste, os genótipos não selecionados exibiram valores progressivamente maiores, superiores a 3,0 e ultrapassando 5,0, indicando maior distância em relação ao ideótipo.

4.5.4. Análise dos pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados

No experimento em casa de vegetação (Figura 2A), a contribuição relativa dos fatores FA1 (Biomassa) e FA2 (Déficit) permitiu identificar diferenças entre os genótipos selecionados. Os genótipos G18_C1, G15_C1 e G13_C1 apresentaram menor contribuição do índice MGIDI ao FA1, indicando maior capacidade de acúmulo de biomassa sob condições de estresse salino. Entretanto, esses mesmos genótipos exibiram maior contribuição relativa ao FA2, sugerindo menor eficiência na manutenção do estado hídrico.

Figura 2 - Contribuição relativa dos fatores obtidos para o índice MGIDI dos genótipos de milho selecionados sob diferentes condições diferentes: A) genótipos avaliados em casa de vegetação em duas concentrações de sais; B) genótipos avaliados em sequeiro com alta dose de N e C) genótipos avaliados em sequeiro com baixa dose de N.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O genótipo G9_C2 destacou-se por apresentar baixa contribuição do MGIDI ao FA2, evidenciando desempenho fisiológico superior e maior capacidade de tolerância ao estresse salino. Os genótipos G9_C1, G7_C1 e G20_C1 apresentaram contribuições mais neutras entre os fatores, indicando desempenho satisfatório tanto em características morfológicas quanto fisiológicas.

Em condições de campo (Figura 2B e 2C), as contribuições do índice variaram para os FA1 (Arquitetura), FA2 (Precocidade) e FA3 (Produtividade). Na condição de alta dose de N (Figura 2B), os genótipos G22 e G1 apresentaram menor contribuição do índice no FA1, indicando que esses genótipos respondem positivamente às características associadas ao porte da planta.

No FA2, destacou-se o genótipo G32, que obteve a menor contribuição do índice nesse fator, evidenciando maior proximidade ao ideótipo quanto à precocidade. Em relação ao FA3, a maioria dos genótipos selecionados (G19, G30, G22, G26 e G2) tiveram menores contribuições, indicando que as características produtivas foram determinantes para a aproximação desses genótipos ao ideótipo estabelecido.

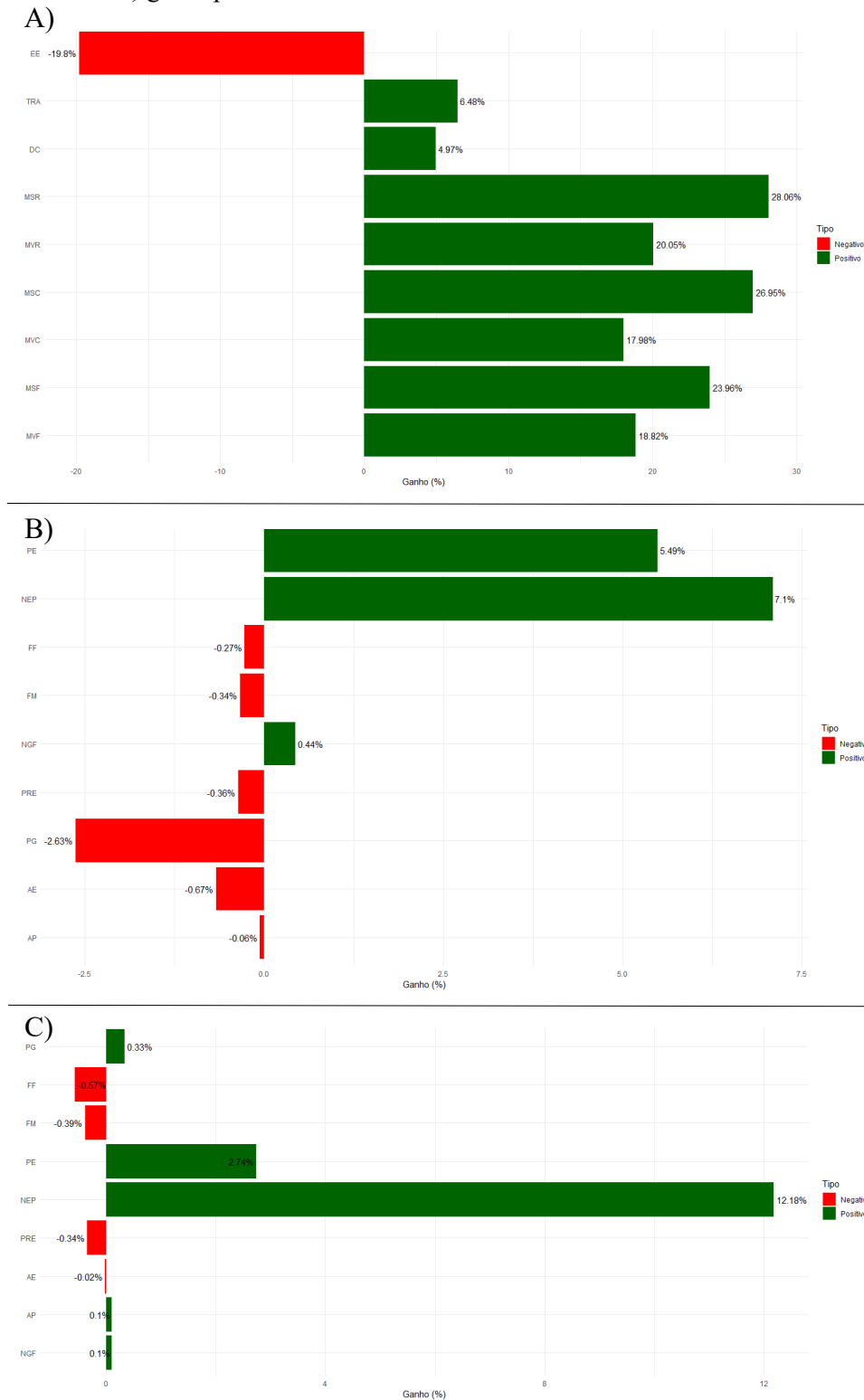
Na condição de baixa dose de N (Figura 2C), nota-se maior variação na contribuição dos fatores. Os genótipos G16, G26 e G22 obtiveram as menores contribuições do índice para o FA1. Os genótipos G19 e G2 destacaram-se no FA2, enquanto G31 apresentou menor contribuição no FA3, o que evidencia o desempenho produtivo satisfatório desses genótipos mesmo sob deficiência de nitrogênio, tornando-os promissores para ambientes com baixa disponibilidade desse nutriente.

4.5.5. Ganhos genéticos por características dos genótipos selecionados

Os ganhos genéticos estimados pelo índice MGIDI evidenciaram respostas diferenciadas entre os ambientes de avaliação, conforme mostrado na Figura 3. No

experimento conduzido em casa de vegetação (Figura 3A), foram observados ganhos genéticos positivos para as características matéria verde e seca das raízes (MVR e MSR), do colmo (MVC e MSC) e das folhas (MVF e MSF). Além disso, verificaram-se ganhos positivos para o teor relativo de água (TRA) e para o diâmetro do colmo (DC).

Figura 3 - Ganhos genéticos dos genótipos de milho selecionados sob diferentes condições diferentes: A) genótipos avaliados em casa de vegetação em duas concentrações de sais; B) genótipos avaliados em alta dose de N e C) genótipos avaliados em baixa dose de N.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Por outro lado, o extravasamento de eletrólitos (EE) apresentou ganho genético negativo (Figura 3A), indicando redução dos danos celulares e, conseqüentemente, maior estabilidade das membranas sob condições de estresse salino.

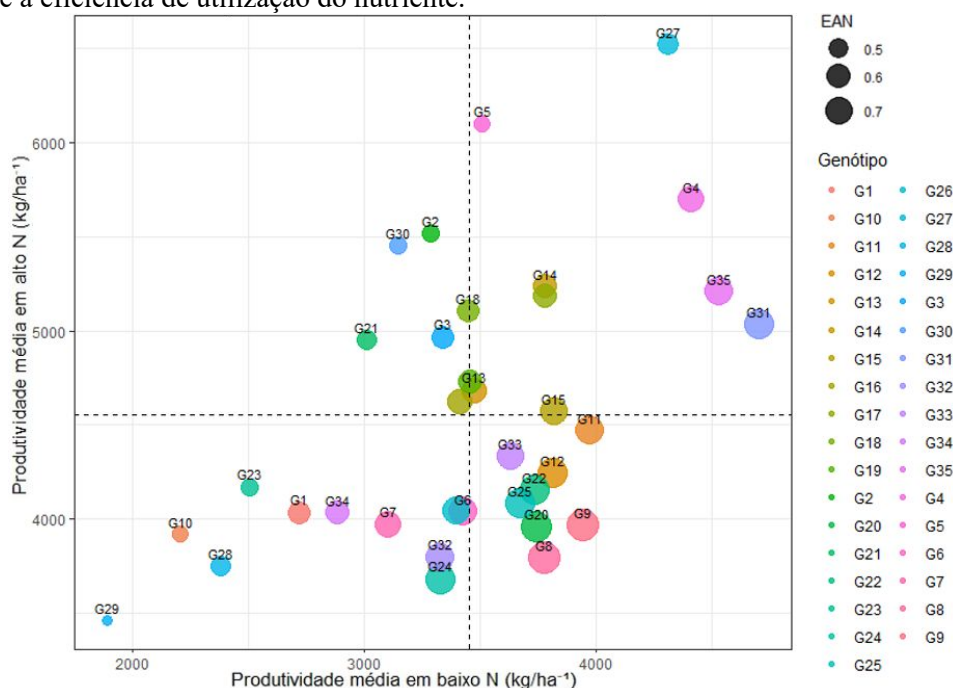
Em campo, sob alta dose de N (Figura 3B), os maiores ganhos genéticos positivos foram observados para número de espigas por parcela (NEP) e peso de espiga (PE). Ganhos positivos também foram registrados para número de grãos por fileira (NGF). Por outro lado, verificaram-se ganhos genéticos negativos para florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF), altura de planta (AP), altura de espiga (AE), posição relativa da espiga (PRE) e produtividade de grãos (PG), indicando seleção indireta para precocidade e menor porte.

Sob baixa dose de N (Figura 3C), destacaram-se ganhos positivos para número de espigas por parcela (NEP), peso de espiga (PE) e produtividade de grãos (PG), indicando eficiência da seleção em condições de restrição nutricional. As características florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF) e posição relativa da espiga (PRE) apresentaram ganhos negativos, enquanto altura de planta (AP) e altura de espiga (AE) tiveram variações próximas à neutralidade.

4.5.6. Eficiência agrônômica no uso de nitrogênio e desempenho produtivo de genótipos de milho

Na Figura 4, mostra-se a dispersão dos genótipos quanto à eficiência agrônômica no uso de nitrogênio (EAN) e à capacidade de resposta produtiva sob condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio. Observou-se ampla variabilidade entre os genótipos, evidenciando diferenças na produtividade de grãos e na eficiência de utilização do nutriente.

Figura 4 - Dispersão dos genótipos de milho quanto à eficiência agrônômica no uso de nitrogênio e à resposta produtiva sob condições de baixa e alta disponibilidade de N, evidenciando o desempenho produtivo e a eficiência de utilização do nutriente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os genótipos posicionados no quadrante superior direito apresentaram maior produtividade tanto em baixa quanto sob alta dose de N, o que indica maior eficiência no uso do nutriente aliada à alta responsividade. Em contraste, os genótipos situados no quadrante inferior esquerdo exibiram baixo desempenho em ambas as condições. Já os genótipos posicionados no quadrante superior esquerdo e inferior direito demonstraram comportamento específico, sendo eficientes apenas em uma das condições de disponibilidade de N.

As produtividades médias gerais foram de 4.569,57 kg ha⁻¹ sob alta dose de N e 3.500,67 kg ha⁻¹ sob baixa dose. Sob alta disponibilidade de N, os valores variaram entre 3.461,39 e 6.520,23 kg ha⁻¹, enquanto sob baixa disponibilidade variaram entre 1.891,99 e 4.702,90 kg ha⁻¹. Esse comportamento evidencia a capacidade de determinados genótipos em manter o desempenho produtivo sob restrição nutricional e, simultaneamente, responder positivamente ao aumento do nutriente, caracterizando elevado potencial agrônomo.

Os genótipos G27, G4, G35 e G31 destacaram-se por estarem inseridos no quadrante superior direito, evidenciando desempenho produtivo em ambas as condições de nitrogênio. Além disso, apresentaram os maiores valores de eficiência agrônoma do nitrogênio, com EAN de 0,50; 0,58; 0,66 e 0,70, respectivamente, reforçando sua elevada capacidade de conversão do nitrogênio disponível em produtividade de grãos.

Dentre esses genótipos, G27 apresentou o maior desempenho produtivo em ambas as condições, seguido por G4. Os genótipos G31 e G35 também mantiveram produtividades acima da média geral, reforçando o potencial agrônomo desses materiais para cultivo em ambientes com diferentes disponibilidades de nitrogênio.

4.6. Discussão

Na análise fatorial, foram considerados apenas os fatores com autovalores superiores a 1, conforme o critério de Kaiser (1958). No experimento conduzido em casa de vegetação, dois fatores atenderam a esse critério, sendo responsáveis por explicar 82,80% da variabilidade total das características avaliadas, com média de comunalidade de 0,83. Esses resultados indicam que os fatores extraídos representaram de forma satisfatória a estrutura multivariada dos dados.

Para o experimento conduzido em sequeiro, três fatores foram retidos, os quais explicaram, em conjunto, 80,60% da variância total associada às características analisadas, apresentando média de comunalidade de 0,81. Esse desempenho demonstra elevada capacidade de explicação dos fatores e confirma a eficiência da redução da dimensionalidade do conjunto de dados.

De acordo com Hair *et al.* (2009), para as características serem bem representadas pelos fatores e que tenha ajuste do modelo fatorial, as comunalidades devem ser superiores a 0,50. Autores como Johnson e Wichern (2007) e Mingoti (2005) destacam que comunalidades elevadas demonstram que parte da variância das variáveis originais é explicada pelos fatores comuns, conferindo robustez e confiabilidade à análise fatorial. Lorentz e Nunes (2013) enfatizaram que as características agrônomicas com comunalidades iguais ou superiores a 0,80 apresentam baixo efeito ambiental sobre a variabilidade dos fatores.

Alves, Minuzzi e Caron (2021) destacam que valores de variância acumulada iguais ou superiores a 70% são indicativos de confiabilidade dos resultados, demonstrando que a análise fatorial utilizada neste estudo apresentou ajuste satisfatório.

No experimento conduzido em casa de vegetação, o Fator 1 foi interpretado como Biomassa, por concentrar as características relacionadas à produção de matéria fresca e seca das folhas, colmo e raízes, além do diâmetro do colmo. Esse comportamento é esperado em plantas submetidas ao estresse salino, uma vez que o crescimento vegetativo tende a responder de forma integrada às limitações impostas pelo excesso de sais.

O Fator 2 foi associado à resposta fisiológica ao estresse salino e denominado Déficit, por agrupar o teor relativo de água e o extravasamento de eletrólitos. O agrupamento dessas características no mesmo fator indica que o déficit hídrico e a integridade das membranas celulares atuam de forma conjunta na tolerância à salinidade, conforme descrito na literatura (Taiz *et al.*, 2021).

No experimento em campo, o Fator 1 foi denominado Arquitetura, reunindo características da morfologia das plantas. As elevadas comunalidades observadas para essas características indicam que esse fator representa a variação estrutural dos genótipos,

evidenciando diferenças no porte e na distribuição da espiga. Segundo Guimarães *et al.* (2019), plantas com porte mais equilibrado tendem a apresentar menor risco de acamamento, o que contribui para a manutenção do desempenho produtivo em condições de sequeiro.

O Fator 2 foi interpretado como Precocidade, por reunir características de florescimento masculino e feminino, evidenciando que o comportamento fenológico constitui um dos principais fatores de diferenciação entre os genótipos avaliados. Em regiões semiáridas, a antecipação do florescimento é uma estratégia importante, pois reduz a exposição das plantas a períodos críticos de déficit hídrico durante o enchimento de grãos (Valadares *et al.* 2022).

O Fator 3, denominado Rendimento, agrupou os principais componentes produtivos, como número, peso de espigas e produtividade de grãos. As altas comunalidades associadas a essas características reforçam sua contribuição direta para a expressão do desempenho produtivo dos genótipos avaliados.

Os resultados confirmam a eficiência da análise fatorial na síntese das informações originais, possibilitando a aplicação do índice MGIDI de forma mais robusta, permitindo a seleção de genótipos superiores, especialmente em diferentes condições de cultivo. Resultados semelhantes foram reportados por Palaniyappan, Ganesan e Manivannan (2025), que ressaltaram que o MGIDI reduz os efeitos da multicolinearidade entre características avaliadas, tornando a tomada de decisão mais precisa quando comparada a análises univariadas. Pallavi *et al.* (2024) destacam que o índice MGIDI é uma ferramenta robusta e eficiente para a seleção de genótipos superiores considerando múltiplas características.

Os ganhos genéticos positivos observados em casa de vegetação para matéria seca e matéria verde das folhas, colmo e raízes sugerem uma resposta adaptativa importante, considerando que a salinidade pode comprometer o acúmulo de fotoassimilados e o crescimento das plantas, conforme destacado por Villa *et al.* (2019) e Zia *et al.* (2022). Além disso, o ganho positivo para o teor relativo de água (TRA) e a redução do extravasamento de eletrólitos (EE) evidenciam que a seleção priorizou genótipos com maior estabilidade das membranas celulares mesmo sob estresse salino.

Conforme Zahra, Raza e Mahmood (2020) e Vennam *et al.* (2024), o teor relativo de água está relacionado com a capacidade das plantas em manter o estado hídrico, enquanto a redução do extravasamento de eletrólitos indica menor dano celular, sendo ambos considerados aspectos importantes para a tolerância à salinidade em estádios iniciais de desenvolvimento do milho.

Em condições de sequeiro com alta dose de nitrogênio, os maiores ganhos genéticos foram para o número de espigas por parcela (NEP) e o peso de espiga (PE), indicando que a seleção favoreceu genótipos com maior potencial produtivo. Ganhos positivos também foram observados para número de grãos por fileira (NGF), reforçando a contribuição dos componentes de rendimento para o desempenho agrônomo dos genótipos selecionados. O suprimento adequado de nitrogênio promove o crescimento vegetativo inicial, refletindo posteriormente em maior formação e enchimento de grãos, como destacado por Bernini *et al.* (2016).

Embora tenha sido observado ganho negativo para produtividade de grãos (PG) nessa condição, a redução foi relativamente baixa quando comparada aos ganhos obtidos para NEP e PE, indicando que a seleção priorizou componentes produtivos específicos e características adaptativas, como precocidade e menor porte de planta. Dessa forma, Valadares *et al.* (2022) destacam que resultados assim sugerem um ajuste no padrão de crescimento dos genótipos selecionados, sem comprometer expressivamente o potencial produtivo geral.

Os ganhos negativos para florescimento masculino (FM) e feminino (FF) indicam a seleção de genótipos mais precoces, característica agronomicamente desejável em ambientes de sequeiro, onde a redução do ciclo pode minimizar a exposição das plantas a períodos críticos de estresse hídrico. A redução na altura de planta (AP) e na altura de espiga (AE)

também pode ser interpretada como um ajuste adaptativo, onde plantas mais compactas tendem a apresentar menor risco de acamamento e quebramento (Valadares *et al.*, 2022).

Sob baixa dose de nitrogênio, os ganhos positivos para número de espigas (NEP), peso de espiga (PE) e produtividade de grãos (PG) enfatizam a seleção de genótipos com maior eficiência no uso do nitrogênio. Conforme destacado por Moll *et al.* (1982) e Valadares *et al.* (2022), genótipos eficientes no uso do nitrogênio são capazes de manter desempenho produtivo satisfatório mesmo em condições nutricionais restritivas.

Em casa de vegetação, o genótipo G9 destacou-se por obter a menor contribuição do fator relacionado ao déficit fisiológico, evidenciando maior estabilidade das membranas celulares e melhor capacidade de manutenção do estado hídrico sob estresse salino. De acordo com McMillen *et al.* (2022), esse comportamento sugere maior tolerância fisiológica à salinidade, característica desejável para programas de melhoramento voltados a ambientes semiáridos.

Em condições de campo, os genótipos G27, G4, G35 e G31 destacaram-se por expressarem elevado desempenho produtivo em ambas as condições de disponibilidade de nitrogênio, além de maiores valores de eficiência agrônômica no uso do nutriente. Esses resultados evidenciam maior capacidade de absorção e utilização do nitrogênio, característica essencial em programas de melhoramento voltados à sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Segundo Chattha *et al.* (2024), genótipos classificados como eficientes e responsivos apresentam maior interesse agrônômico, pois associam elevada produtividade sob restrição nutricional à capacidade de responder positivamente ao incremento da adubação nitrogenada.

De forma complementar, os genótipos G1, G22, G26 e G32 apresentaram recorrência entre os materiais selecionados nas duas condições de nitrogênio, indicando estabilidade agrônômica e adaptação às diferentes disponibilidades do nutriente. Entre eles, o genótipo G32 destacou-se por apresentar valores reduzidos do índice MGIDI em ambas as condições, reforçando seu potencial para cultivo em ambientes com limitação nutricional.

Autores como Taiz *et al.* (2021) enfatizam que valores reduzidos de MGIDI são desejáveis em programas de melhoramento, especialmente quando o objetivo é a seleção de genótipos com maior eficiência no uso de nitrogênio, uma vez que a capacidade de manter bom desempenho sob restrição nutricional está diretamente relacionada à adaptação fisiológica das plantas.

4.7. Conclusões

A aplicação do índice MGIDI mostrou-se eficiente para a seleção simultânea de genótipos superiores, considerando múltiplas características em condições de salinidade e diferentes disponibilidades de nitrogênio.

No experimento conduzido em casa de vegetação, o genótipo G9 destacou-se pelo melhor desempenho fisiológico e maior tolerância ao estresse salino, apresentando maior proximidade ao ideótipo estabelecido.

Em condição de campo, os genótipos G27, G4, G35 e G31 destacaram-se pelo elevado desempenho produtivo e maior eficiência agrônômica no uso de nitrogênio, apresentando potencial para cultivo em ambientes sob restrição nutricional.

Recomenda-se a validação desses resultados em novos estudos, conduzidos em diferentes ambientes e condições de cultivo, a fim de confirmar o desempenho agrônômico e a estabilidade fenotípica dos genótipos identificados.

4.8. Referências Bibliográficas

Albarenque S, Basso B and Melchiori R (2024) Emergence delay effect on maize (*Zea mays* L.) nitrogen uptake. *Agronomy Journal* **116**, 2872–2884.
<https://doi.org/10.1002/agj2.21678>.

- Alves MP, Minuzzi RB and Caron ML** (2021) Identificação de estiagens e estimativas de produtividade de milho para o município de campos novos, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Climatologia* **28**, 101–117.
- Barrs HD and Weatherley PE** (1962) A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* **15**, 413–428.
- Bernini CS, Guimarães PS, Carlini-Garcia LA and Paterniani MEAGZ** (2016) Caracteres fisiológicos e agrônômicos em progênies interpopulacionais de milho selecionadas sob condições de déficit hídrico. *Rev. Bras. Milho Sorgo* **15**(1), 39–52.
- Cassman KG and Dobermann A** (2022) Nitrogen and the future of agriculture: 20 years on. *Ambio* **51**, 17–24. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01526-w>.
- Chattha MU, Fatima F, Khan I, Daji L, Chattha MB, Rasheed A, Elnour RO, Asseri TAY, Hashem M, Alhaithloul HAS, Hassan MU and Qari SH** (2024) Nutrient-coated urea mitigates deleterious impacts of salinity and supports wheat performance by enhancing antioxidant activities, photosynthetic performance and nitrogen use efficiency. *Italian Journal of Agronomy* **19**, 100003. <https://doi.org/10.4081/ija.2024.2219>.
- Costa CSR, Lima MAC, Lima Neto FP, Costa AES, Vilvert JC, Martins LSS and Musser RS** (2023) Genetic parameters and selection of mango genotypes using the FAI-BLUP multitrait index. *Scientia Horticulturae* **317**, 112049. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112049>.
- D S Raj S, Patil RS, Patil BR, Nayak SN and Pawar KN** (2024) Characterization of early maturing elite genotypes based on MTSI and MGIDI indexes: an illustration in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Cotton Research* **7**, 25. <https://doi.org/10.1186/s42397-024-00187-w>.
- Ferreira EB, Cavalcanti PP and Nogueira DA** (2018) Package ‘ExpDes. pt’. R package version 1.
- Guimarães AG, Oliveira JR, Saraiva EA, Silva MJ, Macedo LA, Costa RA, Guimarães CG and Costa MR** (2019) Seleção de genótipos superiores de milho para cultivo no município de Couto Magalhães - MG. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável* **9**(2), 110-119.
- Hair JF, Black WC, Babin BJ and Anderson RE** (2009) *Multivariate data analysis*. 7th edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Johnson RA and Wichern DW** (2007) *Applied multivariate statistical analysis*. 6th edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Kaiser HF** (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* **23**, 187–200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>.
- Klein LA, Marchioro VS, Toebe M, Olivoto T, Meira D, Meier C, Benin G, Busatto CA, Garafini DC, Alberti JV and Finatto JLB** (2023) Selection of superior black oat lines

using the MGIDI index. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* **23**, e45112332. <https://doi.org/10.1590/1984-70332023v23n3a25>

Lima GW, Silva CM, Mezzomo HC, Casagrande CR, Olivoto T, Borem A and Nardino M (2022) Genetic diversity in tropical wheat germplasm and selection via multitrait index. *Agronomy Journal* **114**(2), 887–899. <https://doi.org/10.1002/agj2.20991>

Lorentz LH and Nunes UR (2013) Relações entre medidas de qualidade de lotes de sementes de arroz. *Revista Ciência Agronômica* **44**, 798-804. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000400017>

McMillen MS, Mahama AA, Sibiya J, Lübberstedt T and Suza WP (2022) Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques. *Frontiers in Genetics* **13**, 1001001. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1001001>

Mingoti SA (2005) *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG.

Moll RH, Kamprath EJ and Jackson WA (1982) Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* **74**(3), 562–564.

Mostafa HHA, Li B, Zhu X and Song CP (2021) Nitrogen assimilation under osmotic stress in maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Plant Growth Regulation* **94**, 87–99. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00698-5>.

Munns R and Tester M (2008) Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology* **59**, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.

Novais GT and Machado LA (2023) Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. *Revista Brasileira de Climatologia* **32**, 1–39. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16163>

Neyhart JL, Lorenz AJ and Smith KP (2019) Multi-trait improvement by genomic selection: genetic correlations and selection indices. *G3: Genes, Genomes, Genetics* **9**(2), 489–500. <https://doi.org/10.1534/g3.118.200913>

Olivoto T and Lúcio AD (2020) Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods Ecol. Evol.* **11**(6), 783–789. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>.

Olivoto T and Nardino M (2020) MGIDI: Towards an effective multivariate selection in biological experiments. *bioRxiv* 2020.07.23.217778. <https://doi.org/10.1101/2020.07.23.217778>

Palaniyappan S, Ganesan KN and Manivannan N (2025) Selection of superior fodder maize (*Zea mays*) parental inbreds using multi trait genotype ideotype distance index (MGIDI) and multi trait stability index (MTSI). *The Indian Journal of Agricultural Sciences* **95**(1), 16–21. <https://doi.org/10.56093/ijas.v94i12.145489>

Pallavi M, BP MP, Shanthi P, Reddy V and Kumar A (2024) Multi trait genotype-ideotype distance index (MGIDI) for early seedling vigour and yield related traits to identify elite lines in rice (*Oryza sativa* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding* **15**, 2024.1501.020. <https://doi.org/10.37992/2024.1501.020>

- Peloso AF, Tatagiba SD, Reis EF, Pezzopane JEM and Amaral JFT** (2017) Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. *Coffee Science* **12**(3), 389-399.
- Pour-Aboughadareh A, Sanjani S, Nikkhah-Chamanabad H, Mehrvar MR, Asadi A and Amini A** (2021) Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. *Bulletin of the National Research Centre* **45**, 117. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00576-0>
- R Core Team** (2024) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rocha JRASC, Machado JC and Carneiro PCS** (2018) Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: Proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. *GCB Bioenergy* **10**(1), 52–60. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12443>
- Taiz L, Zeiger E, Möller IM and Murphy A** (2021) *Fundamentos de fisiologia vegetal*. 6th edn. Porto Alegre: Artmed, 865 p.
- Valadares FV, Almeida RN, Silva LRE, Santos GR, Pirovani ROL, Souza Neto JD, Berilli APCG, Moulin MM, Vivas M, Berilli SS and Pereira MG** (2022) Reciprocal recurrent selection for obtaining water-deficit tolerant maize progeny. *Ciência Rural* **52**(5), e20210162. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210162>
- Vennam RR, Bheemanahalli R, Reddy KR, Dhillon J, Zhang X and Adeli A** (2024) Early-season maize responses to salt stress: morpho-physiological, leaf reflectance, and mineral composition. *Journal of Agriculture and Food Research* **15**, 100994. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100994>
- Villa B de, Souza LC, Carvalho EV, Santos RF and Neves JMG** (2019) Efeito da salinidade no desenvolvimento inicial do milho. *Acta Iguazu* **8**(3), 42–47. <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/20043>
- Zahra N, Raza ZA and Mahmood S** (2020) Effect of salinity stress on various growth and physiological attributes of two contrasting maize genotypes. *Brazilian Archives of Biology and Technology* **63**, e20200072. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020200072>
- Zia A, Munsif F, Jamal A, Mihoub A, Saeed MF, Fawad M, Ahmad I and Ali A** (2022) Morpho-physiological attributes of different maize (*Zea mays* L.) genotypes under varying salt stress conditions. *Gesunde Pflanzen* **74**(3), 661–673. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00641-2>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam a existência de variabilidade genética significativa entre as progênes de milho avaliadas, possibilitando a seleção de genótipos superiores com potencial para ambientes sob estresse salino e baixa disponibilidade de nitrogênio. A análise multivariada para ambos os ambientes demonstrou que a tolerância à salinidade e a eficiência no uso de nitrogênio são características complementares e estratégicas para o cultivo do milho em regiões semiáridas.

Dentre os genótipos avaliados, G4, G27, G35 e G31 destacaram-se pelo desempenho em diferentes condições, indicando maiores ganhos genéticos para características relacionadas à biomassa, teor relativo de água, extravasamento de eletrólitos e características morfofisiológicas e produtivas.

Ferramentas multivariadas, como o índice MGIDI, mostram-se eficientes na seleção simultânea de genótipos mais próximos do ideótipo desejado, sendo recomendadas para estudos conduzidos em condições controladas e de campo.

Ressalta-se a necessidade de continuidade das avaliações em múltiplos ambientes e safras, a fim de confirmar a estabilidade do desempenho dos genótipos. Adicionalmente, a inclusão de análises bioquímicas, como a atividade de enzimas antioxidantes e a quantificação de solutos osmoprotetores, pode contribuir para elucidar os mecanismos fisiológicos associados à tolerância à salinidade.

ANEXOS

Tabela 1A. Descrição dos genótipos que foram utilizados no experimento em campo sob condição de sequeiro em dois níveis de nitrogênio, na safra de 2024, em Nossa Senhora da Glória – SE.

Código	Genótipo	Classe genética
G1	CRUZETA	VAR
G2	POPTOL2 - PMI03-SubP2	PMI
G3	POPTOL2 - PMI04-SubP3	PMI
G4	POPTOL2 - PMI05-SubP4	PMI
G5	POPTOL2 - PMI06-SubP5	PMI
G6	POPTOL2 - PMI08-SubP6	PMI
G7	POPTOL2 - PMI12-SubP8	PMI
G8	POPTOL2 - PMI14-SubP10	PMI
G9	POPTOL2 - PMI15-SubP11	PMI
G10	POPTOL2 - PMI32-SubP14	PMI
G11	POPTOL2 - PMI36-SubP15	PMI
G12	POPTOL2 - PMI38-SubP16	PMI
G13	POPTOL2 - PMI52-SubP17	PMI
G14	POPTOL2 - PMI59-SubP19	PMI
G15	POPTOL2 - PMI60-SubP20	PMI
G16	POPTOL2 - PMI62-SubP21	PMI
G17	POPTOL2 - PMI65-SubP22	PMI
G18	POPTOL2 - PMI66-SubP23	PMI
G19	POPTOL2 - PMI67-SubP24	PMI
G20	POPTOL2 - PMI72-SubP25	PMI
G21	POPTOL2 - PMI73-SubP26	PMI
G22	POPTOL2 - PMI75-SubP27	PMI
G23	POPTOL2 - PMI76-SubP28	PMI
G24	POPTOL2 - PMI79-SubP29	PMI
G25	POPTOL2 - PMI85-SubP31	PMI
G26	POPTOL2 - PMI93-SubP32	PMI
G27	POPTOL2 - PMI107-SubP34	PMI
G28	POPTOL2 - PMI114-SubP37	PMI
G29	POPTOL2 - PMI129-SubP40	PMI
G30	POPTOL2 - PMI148-SubP41	PMI
G31	POPTOL2 - PMI154-SubP42	PMI
G32	POPTOL2 - PMI158-SubP44	PMI
G33	POPTOL2 - PMI178-SubP47	PMI
G34	POPTOL2 - PMI206-SubP48	PMI
G35	POPTOL2 - PMI240-SubP50	PMI

Tabela 2A. Descrição dos genótipos que foram utilizados no experimento em casa de vegetação sob condição de irrigado em duas concentrações de sais, na safra de 2024, em Nossa Senhora da Glória – SE.

Código	Genótipo	Classe genética
G1	POPTOL2 - PMI03-SubP2	PMI
G2	POPTOL2 - PMI04-SubP3	PMI
G3	POPTOL2 - PMI08-SubP6	PMI
G4	POPTOL2 - PMI15-SubP11	PMI
G5	POPTOL2 - PMI23-SubP12	PMI
G6	POPTOL2 - PMI32-SubP14	PMI
G7	POPTOL2 - PMI38-SubP16	PMI
G8	POPTOL2 - PMI59-SubP19	PMI
G9	POPTOL2 - PMI62-SubP21	PMI
G10	POPTOL2 - PMI67-SubP24	PMI
G11	POPTOL2 - PMI72-SubP25	PMI
G12	POPTOL2 - PMI75-SubP27	PMI
G13	POPTOL2 - PMI79-SubP29	PMI
G14	POPTOL2 - PMI81-SubP30	PMI
G15	GNZ- 7788	HS
G16	POPTOL2 - PMI114-SubP37	PMI
G17	POPTOL2 - PMI129-SubP40	PMI
G18	POPTOL2 - PMI148-SubP41	PMI
G19	POPTOL2 - PMI158-SubP44	PMI
G20	POPTOL2 - PMI162-SubP45	PMI
G21	POPTOL2 - PMI167-SubP46	PMI

Tabela 3A. Descrição das médias das produtividades e da eficiência agronômica no uso de N dos genótipos em baixa e alta dose de N do experimento em campo sob condição de sequeiro, na safra de 2024, em Nossa Senhora da Glória – SE.

Genótipo	Média em baixa dose de N	Média em alta dose de N	EAN
G1	2718,89	4035,58	0,51
G2	3288,29	5517,85	0,45
G3	3338,62	4966,98	0,51
G4	4413,65	5697,77	0,58
G5	3509,62	6099,67	0,43
G6	3426,52	4038,03	0,64
G7	3103,31	3972,11	0,59
G8	3777,33	3794,25	0,75
G9	3945,94	3967,24	0,75
G10	2211,61	3915,53	0,43
G11	3974,65	4468,64	0,67
G12	3814,19	4242,84	0,68
G13	3474,31	4684,82	0,56
G14	3783,74	5234,38	0,54
G15	3818,39	4574,33	0,63
G16	3412,45	4627,81	0,56
G17	3783,93	5184,67	0,55
G18	3449,36	5105,85	0,51
G19	3459,74	4728,47	0,55
G20	3745,25	3959,16	0,71
G21	3009,60	4950,77	0,47
G22	3734,07	4154,85	0,68
G23	2506,91	4171,41	0,45
G24	3327,76	3682,60	0,68
G25	3673,48	4085,35	0,68
G26	3396,25	4045,52	0,63
G27	4311,21	6520,23	0,50
G28	2380,69	3747,81	0,48
G29	1891,99	3461,39	0,41
G30	3146,78	5454,55	0,44
G31	4702,90	5034,22	0,70
G32	3331,40	3797,12	0,66
G33	3631,62	4333,10	0,63
G34	2885,09	4030,62	0,54
G35	4532,96	5208,76	0,66