



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
GENÉTICOS VEGETAIS



IDALIA SOUZA DOS SANTOS

METODOLOGIAS E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE
Passiflora spp. **PARA TOLERÂNCIA À SALINIDADE**

Feira de Santana - BA

2025

IDALIA SOUZA DOS SANTOS

METODOLOGIAS E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE
Passiflora spp. **PARA TOLERÂNCIA À SALINIDADE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito para obtenção do título de Doutora em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Kennedy Silva Lima

Coorientadores: Prof. Dr. Onildo Nunes de Jesus

Prof. Dr. José Raniere Ferreira de Santana

Feira de Santana - BA

2025

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

Santos, Idalia Souza dos
S235m Metodologias e seleção de genótipos de *Passiflora* spp. para tolerância à salinidade / Idalia Souza dos Santos. - 2025.
135f. : il.

Orientador: Lucas Keneddy Silva Lima
Coorientadores: Onildo Nunes de Jesus, José Raniere Ferreira de Santana

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Feira de Santana.
Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, 2025.

1. Maracujazeiro. 2. Estresse salino. 3. Melhoramento genético. I. Lima, Lucas Kennedy Silva, orient. II. Jesus, Onildo Nunes de, coorient. III. Santana, José Raniere Ferreira de, coorient. IV. Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais. V. Título.

CDU: 582.842.7

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDA VIDIGAL DUARTE SOUZA**
Data: 04/08/2025 14:20:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Fernanda Vidigal Duarte Souza
(Embrapa Mandioca e Fruticultura)

Documento assinado digitalmente
 **LUIZ CLAUDIO COSTA SILVA**
Data: 01/08/2025 08:42:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luiz Cláudio Costa Silva
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)

Documento assinado digitalmente
 **TOSHIK IARLEY DA SILVA**
Data: 01/08/2025 07:47:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Toshik Iarley da Silva
(Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB)

Documento assinado digitalmente
 **RAUL CASTRO CARRIELLO ROSA**
Data: 01/08/2025 12:52:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Raul Castro Corriello Rosa
(Embrapa Agrobiologia)

Documento assinado digitalmente
 **LUCAS KENNEDY SILVA LIMA**
Data: 31/07/2025 21:48:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Lucas Kennedy Silva Lima
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)
Orientador e presidente da banca

Feira de Santana – BA
2025

Dedico

Ao Grupo de Pesquisa em *Passiflora* da Embrapa Mandioca e Fruticultura pelos anos de partilha generosa. Vocês me proporcionaram os instrumentos intelectuais e humanos necessários para seguir esta trajetória com firmeza, integridade, propósito e afeto.

Sou-lhes eternamente grata.

Ofereço

À minha família, meus pais, irmãos e sobrinhos e à minha avó Idália Amorim (*in memoriam*), cuja força, amor e renúncia sustentaram os pilares desta conquista.

Obrigada por cada gesto de cuidado, por suportarem minhas ausências e por nunca deixarem que eu esquecesse quem sou, mesmo nos dias mais difíceis. Esse título é fruto de muitos silêncios, esperas, esperanças e fé compartilhadas.

Nunca será só por mim – será sempre por nós.

Com amor eterno e gratidão imensa.

AGRADECIMENTOS

Às forças de luz e bem que regem minha vida e me sustentam em todo e qualquer desafio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Estadual de Feira de Santana, por proporcionar a base científica e institucional para a realização deste doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro (Código de Financiamento – 001), essencial para que eu pudesse me dedicar integralmente a essa jornada.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura, por todo o suporte estrutural, técnico e financeiro. Esta instituição, por meio dos profissionais envolvidos, foi parte ativa da construção e sucesso do estudo.

Aos meus orientadores, meu respeito e gratidão incondicionais:

Ao Dr. Onildo Nunes, minha profunda gratidão. Sua presença foi muito mais do que orientação acadêmica, foi alicerce e impulso em cada etapa da minha formação. Como orientador, não apenas me ofereceu a chance de ingressar na ciência, me forneceu o aparato necessário para permanecer nela. Com generosidade, MUITA paciência e firmeza me levou a vencer cada etapa, cada desafio. Obrigada por todos os ensinamentos, todo conhecimento compartilhado e todas as oportunidades confiadas. Obrigada por acreditar no meu potencial, por respeitar meu tempo, por ouvir além das palavras e por estar sempre disponível com sabedoria e empatia. Obrigada por me ensinar, por meio do exemplo, o que não poderia aprender nos livros e artigos científicos: ser, sobretudo, humana. A Idalia da iniciação científica agradece a oportunidade desta profissional hoje existir. Por tudo que construímos nesta trajetória e por tudo que ela representa, sou especialmente grata!

Ao Dr. Lucas Kennedy, meus sinceros agradecimentos por ter estado presente em cada etapa da minha trajetória acadêmica. Obrigada pela coragem de assumir comigo este desafio e torná-lo possível e mais leve com sua escuta sensível, humor característico, profissionalismo exemplar, seu conhecimento e, sobretudo, sua amizade generosa. Sua orientação, parceria constante e compromisso foram importantes nos momentos de dúvida, motivação nos momentos difíceis e fonte de equilíbrio ao longo de toda a jornada. Obrigada por acreditar, Lucas. Caminhar ao seu lado é uma honra. Sua trajetória profissional é uma inspiração para mim. Muito obrigada, de coração, por tudo.

Ao Dr. José Raniere, pela confiança depositada e por acreditar na relevância deste trabalho desde o início.

Ao Grupo de Pesquisa em *Passiflora* da Embrapa, meus mais sinceros agradecimentos. Mais do que colegas, vocês foram afeto e apoio. Cada um, com sua entrega e amizade, faz parte dessa conquista. Obrigada a todos: IC's Júnior, estudantes de graduação, mestrado, doutorado, pós-doutorado, técnicos e equipe de campo. Vocês foram fundamentais em cada etapa. Que sorte a minha fazer parte de uma equipe que trabalha e festeja como nenhuma outra. Obrigada de todo coração.

À Sidnara Ribeiro, por ser força, parceria, cuidado e sensibilidade. Sua paixão e entrega por esse universo das passifloras contagiou meu olhar. Sua presença firme e cuidadosa tornou o caminho mais seguro. Obrigada por cada gesto, cada partilha, minha irmã. Essa vitória é nossa. Você é gigantesca!

Ao Dr. Zanon Gonçalves, pelo apoio generoso, pelo exemplo profissional e por sua presença serena, que sempre trouxe equilíbrio e confiança. Sua escuta, seus conselhos e sua amizade foram e são essenciais.

À Dra Taliane Leila, pelo apoio dedicado à minha formação científica, pela inspiração profissional e pelos ensinamentos que carregarei eternamente comigo. Muito obrigada.

Ao Dr. Raul Castro, agradeço por sua contribuição ativa em minha formação e apoio nos experimentos montados. Para mim é uma honra tê-lo fazendo parte da banca examinadora da tese e participando de mais uma etapa importante da minha caminhada profissional.

A Francisco José, Rosenilda e Rebeca por terem se dedicado à execução dos experimentos desta pesquisa tanto quanto eu. Vocês têm minha eterna gratidão, meus amores. Obrigada por tudo.

À Tatiane, Fabiana e Elaine, técnica e analistas da Embrapa, por todo apoio durante a execução dos experimentos, disponibilidade e amizade. Gratidão.

À Claudinha, Tainá e Andresa agradeço por terem sido a fortaleza e rede de apoio que eu precisava. Amo vocês, minhas irmãs. Sou grata por tudo. Sem vocês eu realmente não conseguiria.

À minha família, meus pais (Marinalva e Uilson), irmãos (Antônia, Uilson e Hélio) e sobrinhos (Gustavo e Ariela) agradeço por me permitirem voar. Obrigada por compreenderem minha ausência e por sustentarem minha caminhada com amor, fé e paciência. Cada conquista é também de vocês. Cada passo dado é por vocês. Todo esforço tem como horizonte a possibilidade de retribuir todo amor com um futuro mais justo e digno.

Aos amigos e amigas (em especial Giselli, Sheila, Crisane e minhas afilhadas Amana e Naíma) que, embora longe geograficamente sempre estiveram na torcida e apoio para que cada passo e etapa fossem concluídos com sucesso. Sou grata pelo apoio e afeto.

Agradeço a todos os funcionários da Embrapa (pesquisadores, analistas, técnicos, assistentes de campo e laboratórios; vigilantes e o pessoal dos serviços gerais). Em especial, à Celeste, Srº Santana, Jorge (queridos amigos da “creche”) por todo apoio durante esses anos. Vocês são exemplos de profissionais e por quem tenho profundo respeito e admiração. Obrigada!

Aos docentes e à coordenação do PPGRGV-UEFS, pela qualidade da formação oferecida.

À banca examinadora – Dra. Fernanda Vidigal, Dr. Raul Castro, Dr. Toshik Iarley e Dr. Luiz Cláudio – agradeço profundamente pelas contribuições valiosas e pelo tempo dedicado ao fortalecimento desta pesquisa.

A todos que, de alguma forma, caminharam comigo: minha sincera gratidão.

Essa é uma conquista coletiva.

É o começo.

Obrigada.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.”

Leon Megginson

RESUMO

O maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims) possui grande relevância econômica e social no Brasil. No entanto, a salinização progressiva de solos e recursos hídricos representa uma séria ameaça à sua produção, especialmente nas regiões semiáridas. O desenvolvimento de cultivares tolerantes é fundamental para garantir a sustentabilidade da cultura nessas áreas. Apesar disso, o conhecimento sobre os mecanismos de tolerância à salinidade em *Passiflora* L. ainda é escasso, dificultando a adoção de estratégias de triagem eficientes para uso em programas de melhoramento. Neste trabalho, o objetivo foi estabelecer metodologias eficazes para avaliar a tolerância ao estresse salino em acessos do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de *Passiflora* spp. da Embrapa Mandioca e Fruticultura e realizar a primeira triagem do gênero visando a identificação de genótipos contrastantes. Os experimentos foram conduzidos em condições controladas, em laboratório e casa de vegetação, em Cruz das Almas - BA. Inicialmente, buscou-se determinar a dose crítica de salinidade para *P. edulis*, utilizando cinco acessos submetidos a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva + NaCl (CEa = 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹), além de controles (0 dS m⁻¹ – água destilada e 2 dS m⁻¹ – solução nutritiva). Essas avaliações foram realizadas em diferentes estádios fenológicos: sementes e plântulas (Capítulo 1) e plantas com duas e cinco folhas definitivas (Capítulo 2), sob exposição ao estresse por 28 e 21 dias, respectivamente. Com base nesses resultados, foi estabelecida a CEa de 9 dS m⁻¹ como dose crítica para triagem. Essa concentração foi utilizada na avaliação de 86 acessos de *Passiflora* spp. do BAG da Embrapa, conduzida em sistema hidropônico (Capítulo 3). Em todo o estudo foram analisadas variáveis relacionadas à germinação, morfofisiológicas, nutricionais, bioquímicas e acerca da sintomatologia de salinidade. Os resultados revelaram que a tolerância à salinidade em *Passiflora* varia de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta, sendo sementes, plântulas e plantas jovens de *P. edulis* especialmente sensíveis a partir de 3 dS m⁻¹ e com reduções críticas a partir de 9 dS m⁻¹. As metodologias testadas mostraram-se eficientes para identificar sintomas precoces de toxidez, por meio de escalas de notas, além de indicarem o limiar salino ideal para triagem em condições controladas. O sistema hidropônico utilizado para plantas com 20 a 30 dias de idade demonstrou ser eficaz para a caracterização de mecanismos de tolerância. A abordagem multivariada, aliada ao uso de índices de tolerância, como o Índice de Estabilidade de Rendimento (IER), permitiu captar de forma robusta a ampla variabilidade intra e interespecífica no gênero. Foram classificados como tolerantes 22 acessos pertencentes a 13 *Passiflora* spp., inclusive *P. alata* e *P. edulis* (espécies cultivadas). Esses materiais apresentaram maior estabilidade morfológica, fisiológica e iônica sob condições de estresse. Os resultados apontam essas espécies como candidatas promissoras para uso em programas de melhoramento visando à tolerância à salinidade, seja por cruzamentos interespecíficos com *P. edulis*, uso como porta-enxertos ou clonagem de materiais superiores. Esta pesquisa fornece subsídios valiosos para o desenvolvimento de híbridos tolerantes e orientam futuras investigações bioquímicas, genéticas e fisiológicas. Espera-se que a integração desses conhecimentos beneficiem diretamente programas de melhoramento e sistemas produtivos localizados em regiões de salinidade crescente, como o semiárido brasileiro.

Palavras-chave Maracujazeiros. Variabilidade intra e interespecífica. Estresse salino. Melhoramento genético. Metodologias de triagem.

ABSTRACT

The yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) holds great economic and social relevance in Brazil. However, the progressive salinization of soils and water resources represents a serious threat to its production, especially in semiarid regions. The development of tolerant cultivars is essential to ensure the sustainability of this crop in these areas. Nevertheless, knowledge about the mechanisms of salinity tolerance in *Passiflora* L. is still scarce, hindering the adoption of efficient screening strategies for use in breeding programs. In this study, the objective was to establish effective methodologies to evaluate salinity stress tolerance in accessions from the Active Germplasm Bank (AGB) of *Passiflora* spp. at Embrapa Cassava and Fruits, and to conduct the first screening of the genus aiming at the identification of contrasting genotypes. The experiments were carried out under controlled conditions, in laboratory and greenhouse, in Cruz das Almas – BA. Initially, the critical salinity dose for *P. edulis* was determined using five accessions subjected to different levels of electrical conductivity of the nutrient solution + NaCl ($EC_w = 3, 6, 9, 12,$ and 15 dS m^{-1}), in addition to controls (0 dS m^{-1} – distilled water and 2 dS m^{-1} – nutrient solution). These evaluations were performed at different phenological stages: seeds and seedlings (Chapter 1) and plants with two and five fully expanded leaves (Chapter 2), under stress exposure for 28 and 21 days, respectively. Based on these results, an EC_w of 9 dS m^{-1} was established as the critical dose for screening. This concentration was then used to evaluate 86 accessions of *Passiflora* spp. from the BAG of Embrapa, under a hydroponic system (Chapter 3). Throughout the study, variables related to germination, morphophysiology, nutrition, biochemistry, and salinity symptomatology were analyzed. The results revealed that salinity tolerance in *Passiflora* varies according to the plant's developmental stage, with seeds, seedlings, and young plants of *P. edulis* being especially sensitive from 3 dS m^{-1} , and showing critical reductions from 9 dS m^{-1} onwards. The tested methodologies proved efficient in identifying early toxicity symptoms through scoring scales, as well as in indicating the ideal salinity threshold for screening under controlled conditions. The hydroponic system used for plants aged 20 to 30 days proved effective for the characterization of tolerance mechanisms. The multivariate approach, combined with tolerance indices such as the Yield Stability Index (YSI), allowed for a robust assessment of the wide intra- and interspecific variability within the genus. A total of 22 accessions belonging to 13 *Passiflora* spp., including *P. alata* and *P. edulis* (cultivated species), were classified as tolerant. These materials displayed greater morphological, physiological, and ionic stability under stress conditions. The results highlight these species as promising candidates for use in breeding programs aimed at salinity tolerance, either through interspecific crosses with *P. edulis*, use as rootstocks, or cloning of superior materials. This research provides valuable insights for the development of tolerant hybrids and guides future biochemical, genetic, and physiological investigations. It is expected that the integration of this knowledge will directly benefit breeding programs and production systems located in regions of increasing salinity, such as the Brazilian semiarid region.

Keywords Passion fruit. Intra and interspecific variability. Salt stress. Genetic improvement. Screening methodologies.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 1.....	32
1 INTRODUÇÃO	35
2 MATERIAL E MÉTODOS	37
3 RESULTADOS	41
4 DISCUSSÃO	51
5 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	57
CAPÍTULO 2.....	63
1 INTRODUÇÃO	66
2 MATERIAL E MÉTODOS	68
3 RESULTADOS	74
4 DISCUSSÃO	83
5 CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIAS	90
CAPÍTULO 3.....	96
1 INTRODUÇÃO	99
2 MATERIAL E MÉTODOS	101
3 RESULTADOS	110
4 DISCUSSÃO	122
5 CONCLUSÃO	127
REFERÊNCIAS	128

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims), destacando a importância socioeconômica dessa frutífera, cultivada principalmente por pequenos produtores em todo o território nacional (Faleiro *et al.*, 2019). Em 2023, o país produziu 711.278 t de maracujá, das quais 505.451 t foram originadas na região Nordeste (IBGE, 2024). Entretanto a cultura sofre com decréscimos na produtividade em virtude de estresses bióticos e abióticos (Lima *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2021; Jesus *et al.*, 2021; Moura *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2024). A alta salinidade dos solos e dos mananciais tem prejudicado a formação de mudas e o estabelecimento da cultura sob manejo convencional (Bezerra *et al.*, 2019). A crescente necessidade de aumentar a produção de alimentos tem levado à expansão das áreas agricultáveis, tornando inevitável o uso de águas alternativas ou degradadas para irrigação, o que agrava o problema da salinização (Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Gheyi *et al.*, 2023).

No Brasil, este problema é mais evidente na região semiárida, em que as águas empregadas nas irrigações, em sua maioria, possuem altas concentrações de sais podendo comprometer o solo e especialmente o desenvolvimento das culturas (Gheyi *et al.*, 2023). Em resposta às condições ambientais extremas, as plantas têm desenvolvido eficientes estratégias para sobreviver em solos com alta salinidade, com uma série de mecanismos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares (Gao *et al.*, 2015; Mulry *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016; Torre-González *et al.*, 2017; Sandhu *et al.*, 2017; Negrão *et al.*, 2018; Munawar *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2023).

Aumentar as produções agrícolas através da resolução dos problemas causados pelo estresse salino é uma questão importante para satisfazer as demandas de alimentos de uma população mundial cada vez maior (Ekbic *et al.*, 2017; Gheyi *et al.*, 2023). No caso do maracujazeiro, este fator torna-se mais agravante pois os principais municípios produtores do Estado da Bahia, a exemplo de Livramento de Nossa Senhora, Dom Basílio e Brumado concentra-se em regiões semiáridas, onde a principal água de irrigação é proveniente de poços com água salobra ou de fontes com águas de qualidade inferior e rica em sódio (Moura *et al.*, 2020).

Até o momento, há pouca informação sobre os mecanismos fisiológicos que determinam comportamentos diferenciais em *Passiflora* spp. (Hurtado-Salazar *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2020; 2021). O Banco Ativo de Germoplasma da

Embrapa Mandioca e Fruticultura apresenta uma ampla diversidade de espécies que são conservadas nas condições de campo, telados e bancos de sementes. Esse banco tem sido caracterizado essencialmente para caracteres morfológicos e agronômicos (Castro *et al.*, 2012; Neves *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2014; Lima *et al.*, 2017; Gonçalves *et al.*, 2021; Jesus *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2024) e poucas informações têm sido geradas com foco em tolerância à salinidade (Moura *et al.*, 2017; 2020; 2021; Lima *et al.*, 2020). Assim, é importante que as ações de melhoramento genético do maracujazeiro sejam também voltadas para o desenvolvimento de novas cultivares mais adaptadas a essas condições abióticas, uma vez que não há nenhuma com essa finalidade disponível para os produtores (Ferreira *et al.*, 2022). Dessa forma, o conhecimento sobre a sensibilidade das espécies do gênero é uma ferramenta essencial.

Os diferentes níveis de adaptação das plantas à salinidade resultam em uma elevada variação quanto ao crescimento e desenvolvimento, cujas respostas a essa condição podem variar entre as espécies e cultivares. Estudos com diferentes espécies, como alface (Alves *et al.*, 2020), trigo (Feghhenabi, 2020), sorgo (Chen *et al.*, 2021), arroz (Yi *et al.*, 2022), canola (Wang *et al.*, 2022) e maracujá (Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2020), têm corroborado essa afirmativa. Algumas pesquisas têm colaborado com informações acerca da salinidade no maracujazeiro amarelo (Oliveira *et al.*, 2015; Bezerra *et al.*, 2016; Nascimento *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2023). Entretanto, a maioria destes estudos têm investigado apenas as respostas fisiológicas das cultivares comerciais ou de pouquíssimas espécies irrigadas com água salina em níveis abaixo de 4 dS m⁻¹. Além disso, pouco se sabe sobre o comportamento de diferentes espécies ou das alterações ocorridas nas diferentes fases do desenvolvimento do maracujazeiro quando submetidas à salinidade, bem como as alterações das interações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas provocadas por esse estresse abiótico especialmente em sementes, plântulas e plantas na fase de muda.

Os bancos de germoplasma distribuídos em todo o mundo fornecem um meio prático para estudos de triagem e melhoramento de plantas, pois dispõem de ampla variabilidade genética e possibilitam a seleção de materiais promissores (El-Fattah *et al.*, 2020). As estratégias utilizadas para identificar fontes de tolerância à salinidade incluem triagens em condições de campo (Moustafá *et al.*, 2021) e em ambientes controlados por meio de sistemas hidropônicos (Yasmin *et al.*, 2020); semi-hidropônicos (Lima *et al.*, 2020); testes de germinação de sementes (Li *et al.*, 2020) e outros meios artificiais como bioensaios com discos foliares (Roy; Chakraborty, 2017) e *in vitro* (Ahmed *et al.*, 2020).

Todavia, não há metodologias estabelecidas e disponíveis para caracterização de *Passiflora* quanto ao estresse salino, em nenhuma das fases iniciais de desenvolvimento da planta.

Com base no exposto, compreendemos que há uma lacuna na literatura voltada para a cultura, principalmente no que diz respeito às espécies silvestres e quais delas poderiam contribuir para o melhoramento da espécie comercial (*P. edulis*). Visto a ampla variabilidade intra e interespecífica do gênero (Faleiro *et al.*, 2019; Gonçalves *et al.*, 2021), o conhecimento sobre a sensibilidade da espécie comercial é um importante balizador para definição da dose crítica de NaCl a ser usada como referência para identificação de tolerância em programas de melhoramento genético. Nesse sentido, realizamos pela primeira vez uma ampla caracterização da resposta de diferentes espécies conservadas do gênero *Passiflora* L. quanto à tolerância ao estresse salino. Para tal estabelecemos metodologias de avaliação nos estádios de sementes, plântulas e plantas na fase de muda em condições controladas. Dessa forma, os objetivos deste estudo foram: i) estabelecer metodologias para avaliação e identificação de acessos e espécies de *Passiflora* tolerantes à salinidade; ii) definir o nível crítico de salinidade e o tempo de exposição que causam estresse em sementes e plantas de *P. edulis*; iii) analisar o impacto da salinidade nos caracteres morfofisiológicos do maracujazeiro em diferentes estádios de desenvolvimento e iv) realizar a triagem de acessos de *Passiflora* spp. para tolerância à salinidade; identificar e definir as potencialidades dos acessos para uso no programa de melhoramento genético.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem do maracujazeiro (*Passiflora* spp.)

A família Passifloraceae Juss. ex Roussel compreende 16 gêneros e aproximadamente 700 espécies (Silva; Souza, 2020). O *Passiflora* L. destaca-se como o mais diverso dos gêneros, com mais de 500 espécies descritas (Cauz-Santos *et al.*, 2017; Ocampo; D'eeckenbrugge, 2017; He *et al.*, 2020). O maracujazeiro é nativo das regiões tropicais e subtropicais das Américas (Cerqueira-Silva *et al.*, 2015; Rodríguez *et al.*, 2020). Sua origem remonta às áreas da América do Sul (Ocampo *et al.*, 2021), principalmente Brasil, Colômbia, Paraguai e região Norte da Argentina (Simirgiotis *et al.*, 2013). O Brasil possui cerca de 150 *Passiflora* spp. e grande parte é endêmica no país (Bernacci *et al.*, 2015). Este gênero tem atraído considerável atenção por seu valor econômico, ampla distribuição geográfica e notável diversidade (Cauz-Santos *et al.*,

2017), além de apresentar formas diversificadas de uso (Jesus *et al.*, 2017). As plantas de maracujá são originadas nas bordas de florestas úmidas em vales tropicais, com temperatura média do ar de 20 a 30 °C e altas taxas de umidade e precipitação ambiental (Ocampo *et al.*, 2007), entretanto essas condições podem variar entre as espécies e sua origem (Hurtado-Salazar *et al.*, 2021).

2.2 Características gerais e importância de *Passiflora edulis* Sims

A espécie de maracujá mais cultivada e conhecida é o maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims), também chamado de maracujá-azedo; é um produto de grande importância social e econômica no Brasil (Melo *et al.*, 2016; Ocampo *et al.*, 2016; Figueiredo *et al.*, 2016; Silva; Souza, 2020; Jesus *et al.*, 2023). Pode ser cultivada entre 0-1.300 metros acima do nível do mar. Seu crescimento ideal ocorre sob temperaturas entre 23 e 25 °C, enquanto em regiões com temperaturas abaixo de 15 °C e fotoperíodo com menos de 11 h de luz por dia, há pouco estímulo à floração (Santos *et al.*, 2021). Regiões com temperaturas médias superiores a 28 °C aceleram o crescimento vegetativo, mas com redução na produção devido à desidratação do estigma. A umidade relativa abaixo de 30% reduz a polinização e o desenvolvimento dos frutos (Faleiro *et al.*, 2020; Fischer; Miranda, 2021).

O Brasil representa 50-60% da produção mundial de maracujá-amarelo (Oliveira *et al.*, 2016; IBGE, 2023). Expressividade que está associada às condições edafoclimáticas favoráveis para o seu crescimento, desenvolvimento e produção (Lima *et al.*, 2023), e às características físicas e químicas dos frutos que refletem na aceitação no mercado nacional (Faleiro *et al.*, 2019; Jesus *et al.*, 2022). A cultura tem apresentado acentuada expansão e despertado interesse dos fruticultores por ser cultivada em todas as regiões, apresentar rápido início de colheita (Santos *et al.*, 2021) e ter boa valorização no mercado interno (Ataíde *et al.*, 2012; Araújo *et al.*, 2017).

No ano de 2023, o Brasil produziu 711.278 mil toneladas em 45.761 mil hectares, com rendimento de 15,54 t ha⁻¹ (IBGE, 2024). O cultivo desta frutífera tem gerado emprego e renda em diversos municípios brasileiros por necessitar de intensiva mão de obra. O valor da produção foi de aproximadamente R\$ 2,9 bilhões no último censo agropecuário, em 2023, sendo a Região Nordeste responsável por 71% da produção, cuja concentração se dá principalmente no Estado da Bahia, maior produtor nacional (IBGE, 2023). Como a principal demanda do fruto é para o mercado interno, caracteriza-se por ser cultivado em pequenas propriedades por agricultores familiares, representando uma

opção de renda para os mesmos (Faleiro *et al.*, 2019; 2020). Apesar de ser suscetível à diversas doenças (Lima *et al.*, 2017; Gonçalves *et al.*, 2021; Jesus *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2021) e estresses abióticos como a seca (Souza *et al.*, 2018) e a salinidade (Lima *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2022), é considerada uma atividade de grande interesse, devido ao alto valor agregado da produção. Entretanto, como a área de cultivo está se expandindo globalmente, as dificuldades relacionadas também aumentam (Zhang *et al.*, 2023).

2.2 Recursos genéticos e melhoramento de *Passiflora* L.

O gênero *Passiflora* apresenta ampla variabilidade genética, expressa em características morfológicas, fisiológicas e adaptativas (Jesus *et al.*, 2017; He *et al.*, 2020). Embora apresentem variação no número de cromossômico, a maioria das espécies cultivadas e silvestres de *Passiflora* L. são diplóides ($2n = 2x = 18$). Entre as 25 espécies cultivadas, destacam-se *P. edulis* Sims (maracujá-amarelo) e *P. edulis* f. *edulis* (maracujá-roxo), ambas de grande importância comercial (Wu *et al.*, 2020). No entanto, outras espécies do gênero reúnem atributos agronomicamente valiosos, como tolerância a estresses bióticos e abióticos (Lima *et al.*, 2017; Gonçalves *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2020). Apesar disso, muitos acessos conservados em bancos de germoplasma ainda não foram devidamente caracterizados (Cerqueira-Silva *et al.*, 2014; Jesus *et al.*, 2017).

A caracterização é fundamental para revelar a variabilidade existente (Oliveira *et al.*, 2019; Hashemi; Khadivi, 2020), subsidiar estratégias de conservação (Castro *et al.*, 2016) e apoiar o uso desses recursos em programas de melhoramento (Holanda *et al.*, 2020). Isso permite selecionar genótipos promissores e promover o uso racional da diversidade genética (Chavarría-Perez *et al.*, 2020). A coleção de *Passiflora* spp. da Embrapa Mandioca e Fruticultura conta com mais de 377 acessos conservados em bancos ativos e coleções de sementes, sendo um importante centro para estudos sobre variabilidade intra e interespecífica (Alelo Vegetal, 2025). Embora os acessos do banco tenham sido amplamente caracterizados quanto aos aspectos morfológicos e agrônômicos (Castro *et al.*, 2012; Neves *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2014; Lima *et al.*, 2017; Gonçalves *et al.*, 2021; Jesus *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2024), informações relacionadas à tolerância à salinidade ainda são limitadas.

Embora diversas cultivares tenham sido lançadas nas últimas décadas; BRS Gigante Amarelo (1999), BRS Sol do Cerrado (2006), BRS Rubi do Cerrado (2007), BRS Ouro Vermelho (2010) e BRS Estrela do Cerrado (2018), nenhuma delas foi especificamente selecionada para tolerância à salinidade. Esse estressor abiótico constitui

um fator limitante crítico, especialmente em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, tornando o conhecimento sobre a sensibilidade das passifloráceas essencial para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas (Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021). A caracterização e conservação do germoplasma, aliadas ao uso de técnicas convencionais e avançadas de melhoramento, são fundamentais para garantir a sustentabilidade do cultivo de maracujá (Jesus *et al.*, 2022).

Metodologias consolidadas de triagem para resistência a doenças já existem (Lima *et al.*, 2017; Gonçalves *et al.*, 2018; 2021). Contudo, no contexto da salinidade, poucas espécies silvestres foram exploradas, destacando-se *P. mucronata* e seu híbrido interespecífico com *P. edulis* (Lima *et al.*, 2020), além do uso de *P. gibertii* e *P. cincinnata* como porta-enxertos (Moura *et al.*, 2020; 2021; Ferreira *et al.*, 2022). Portanto, é essencial que o melhoramento genético do maracujazeiro amplie suas estratégias para avaliar a ampla variabilidade do gênero, identificando materiais promissores para tolerância ao sal subsidiando o desenvolvimento de cultivares tolerantes a essas condições adversas.

2.3 Salinidade

2.3.1 Impactos no solo

As plantas interagem com o ambiente, e condições que excedem seus limites homeostáticos podem causar estresse. A salinidade, caracterizada pelo acúmulo de íons como sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), é uma condição ambiental que provoca estresse salino nas plantas (Parihar *et al.*, 2015) e se destaca como um fator limitante para a produção agrícola em todo o mundo (Hmissi *et al.*, 2023). Pode ser diferenciada em primária e secundária. A salinidade primária é consequência de processos naturais e a secundária de atividades antrópicas (Giordano *et al.*, 2021). As terras áridas e semiáridas ocupam 41% da superfície terrestre (Gaur; Squires, 2018; Hossain, 2019) e estima-se que até 2050 mais de 50% das terras aráveis serão salinizadas (Abdelaziz *et al.*, 2019), resultando numa redução drástica da fertilidade do solo, da cobertura vegetal e da biodiversidade, impactando as funções ecológicas do solo, levando à sua degradação e consequente desertificação (Peng *et al.*, 2019; Gorji *et al.*, 2020).

Um solo é considerado salino quando sua condutividade elétrica (CE) é medida em 4 dS m^{-1} e pressão osmótica de 0,2 MPa, que afeta significativamente o metabolismo da planta (Munns; Tester, 2008). No Brasil, os efeitos do estresse salino sob as culturas são relatados com maior frequência na região semiárida, onde as condições

edafoclimáticas são marcadas por baixa pluviosidade, altas temperaturas e evapotranspiração elevada (Fageria *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2022; Gheyi *et al.*, 2023). Um estudo realizado para avaliação do estado de salinidade do solo sob diferentes condições de uso da terra na região semiárida do Nordeste brasileiro indicou que cloretos, sulfatos de cálcio, magnésio e sódio contribuem efetivamente para a degradação dessas áreas, no entanto, os íons Na^+ e Cl^- foram identificados como os principais contribuintes para a desertificação e degradação do solo devido à salinidade (Pessoa *et al.*, 2022).

2.3.2 Qualidade da água de irrigação e efeito nas plantas

A água é o recurso mais essencial à vida, sendo indispensável para a existência e o funcionamento de todos os organismos conhecidos (Lopes *et al.*, 2014). Estima-se que cerca de 33% das terras agrícolas do planeta utilizem irrigação, sendo grande parte afetada por diferentes graus de salinidade (Jameel *et al.*, 2024). A sustentabilidade da agricultura irrigada depende não apenas da quantidade de água disponível, mas, sobretudo, de sua qualidade, fator determinante para a longevidade produtiva dos solos (Hmissi *et al.*, 2023). Essa qualidade é avaliada por parâmetros como pH, concentração de sais totais dissolvidos e teores de íons como sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}), cujos excessos podem desencadear processos de salinização, sodificação, alcalinização e toxicidade do solo (Almeida, 2010; Barroso *et al.*, 2011).

No Brasil, especialmente nas regiões semiáridas, o uso crescente de águas salobras na irrigação tem se tornado um dos principais entraves à produção agrícola (Gheyi *et al.*, 2023). A presença excessiva de sais compromete o desenvolvimento das plantas tanto pelo efeito osmótico, que reduz a disponibilidade de água, quanto pelo efeito tóxico direto dos íons absorvidos (Moura *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2020; Hurtado-Salazar *et al.*, 2022). O estresse osmótico, característico dos estágios iniciais do estresse salino, reduz o potencial hídrico do solo e dificulta a absorção de água pelas raízes, desencadeando alterações fisiológicas como danos às membranas celulares, desequilíbrio nutricional, acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), comprometimento do sistema antioxidante, além da diminuição da abertura estomática e da fotossíntese (Munns; Tester, 2008; Gupta; Huang, 2014; Sousa *et al.*, 2022). Essas alterações afetam diretamente a homeostase osmótica e eletroquímica das células (Lima *et al.*, 2023). A primeira refere-se à regulação da entrada e saída de água por meio do controle do potencial osmótico, mantendo a turgescência celular; a segunda diz respeito ao equilíbrio

dos gradientes iônicos e do potencial de membrana, fundamentais para a absorção de nutrientes, transporte ativo e sinalização celular. A desregulação desses mecanismos resulta em perda de integridade das membranas, desorganização metabólica e ativação de vias de morte celular programada (Gao *et al.*, 2015; Mulry *et al.*, 2015; Parihar *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016; Torre-González *et al.*, 2017).

Além disso, o estresse salino é também hiperiônico, caracterizado pelo acúmulo excessivo de Na^+ e Cl^- nos tecidos vegetais (Acosta-Motos *et al.*, 2017). A presença desses íons em concentrações elevadas compromete a seletividade das membranas e a absorção de nutrientes como K^+ e Ca^{2+} , levando a distúrbios fisiológicos como peroxidação lipídica, alteração da atividade enzimática e redução da condutância estomática e da fotossíntese (Silveira *et al.*, 2010; Negrão *et al.*, 2017; Sousa *et al.*, 2022). A elevada concentração de Na^+ compete diretamente com a absorção de K^+ , elemento essencial à regulação osmótica, ativação enzimática e ao balanço elétrico da célula. Ainda, esse desequilíbrio impacta o transporte de elétrons e a eficiência do fotossistema II, responsável pela fotólise da água durante a fotossíntese (Najar *et al.*, 2019). Como resposta ao estresse, ocorre o acúmulo de EROs, como o radical superóxido (O_2^-), radical hidroxila (OH^-) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), os quais, em excesso, provocam danos oxidativos a proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, prejudicando processos fundamentais como o metabolismo energético, o transporte de íons, a sinalização redox, a divisão celular e a integridade de organelas (Breria *et al.*, 2020; Hasanuzzaman *et al.*, 2021; Roşca *et al.*, 2023; Mukherjee *et al.*, 2024).

A germinação de sementes é um dos estádios mais sensíveis ao estresse salino e, ao mesmo tempo, decisiva para o sucesso do estabelecimento da cultura (Tlahig *et al.*, 2021). O acúmulo de sais reduz o potencial osmótico do substrato, dificultando a embebição da semente, atrasando a emergência e comprometendo a reativação do metabolismo celular (Tuan *et al.*, 2019; Mwando *et al.*, 2020). A restrição hídrica, aliada ao efeito tóxico do Na^+ , interfere no metabolismo de reservas, na atividade enzimática e na integridade dos tecidos embrionários, resultando em queda na taxa de germinação, no vigor e na uniformidade das plântulas (Wu *et al.*, 2018; Soliman *et al.*, 2020). Tais efeitos têm sido relatados em culturas como arroz (Rasel *et al.*, 2021), sorgo (Dehnavi *et al.*, 2020), tomate (Sivakumar *et al.*, 2020) e maracujá (Andrade *et al.*, 2018). Nos estádios subsequentes do desenvolvimento vegetal, os sintomas clássicos da salinidade incluem: redução do crescimento e da produtividade, menor área foliar, inibição do crescimento radicular, atraso no desenvolvimento de gemas apicais, redução no número de folhas,

clorose, necrose marginal, abscisão foliar e desordens metabólicas relacionadas à turgescência celular e aos balanços hormonal e nutricional (Nascimento *et al.*, 2011; Taiz *et al.*, 2021; Souto *et al.*, 2023).

No maracujazeiro-amarelo (*P. edulis* Sims), a salinidade afeta negativamente diferentes estágios do ciclo de vida da planta. Estudos relatam redução na porcentagem de germinação e no vigor de sementes submetidas à irrigação com água salina (Meza; Arizaleta; Bautista, 2007; Montaña *et al.*, 2014; Andrade *et al.*, 2018), alterações no acúmulo de Na^+ e Cl^- nas folhas, desbalanços nutricionais, redução da biomassa, comprometimento da capacidade antioxidante e mudanças na expressão gênica (Ferreira *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2023; Souto *et al.*, 2023). Embora a irrigação seja uma prática indispensável para a manutenção da produtividade e qualidade dos frutos do maracujazeiro (Freire *et al.*, 2010; Gheyi *et al.*, 2023), os desafios impostos pela salinidade em regiões semiáridas demandam estratégias tecnológicas que aliem tolerância genética, uso racional da água e alternativas viáveis para pequenos e médios produtores. Nesse sentido, o avanço no entendimento das respostas fisiológicas, bioquímicas e genéticas da cultura à salinidade é fundamental para o desenvolvimento de programas de melhoramento voltados à obtenção de genótipos mais adaptados (El Sabagh *et al.*, 2021; Giordano *et al.*, 2021).

2.4 Tolerância das plantas à salinidade e metodologias para triagem

A tolerância à salinidade dá-se pelo potencial da planta iniciar e concluir seu ciclo de vida em condições limiáres e altas de sais concentrados (Munns, 2002). As plantas que não toleram os efeitos do estresse salino são classificadas como glicófitas e abrangem a maioria das espécies cultivadas; já as halófitas, além de tolerar o estresse, podem adaptar-se à ambientes hipersalinos (Acosta-Motos *et al.* 2017; Taiz *et al.*, 2021). As respostas das plantas à salinidade envolvem alterações morfológicas, fisiológicas, anatômicas, bioquímicas e hormonais, configurando-se como um fenômeno complexo que varia em função do genótipo, do estágio de desenvolvimento da planta e da intensidade e duração do estresse (Negrão *et al.*, 2017; Wu, 2018; Lima *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2022).

Como visto, a salinidade do solo e da água normalmente inibe a germinação, o crescimento e a reprodução das plantas através de uma fase inicial de estresse osmótico, seguida de toxicidade iônica devido ao acúmulo de íons Na^+ e Cl^- no citosol celular que resulta em estresse oxidativo e privação nutricional (Silveira *et al.*, 2010; Negrão *et al.*, 2017; Torre-González *et al.*, 2017; Hurtado-Salazar *et al.*, 2022). Portanto, os ajustes

osmóticos, a eliminação de EROS, a homeostase de íons, e as atividades metabólicas são altamente afetadas quando as plantas estão sob estresse salino (Singh *et al.*, 2021) e as diferenças no ajuste desses componentes demonstram o estado diferencial das espécies quanto ao nível de tolerância e sensibilidade que exibem.

De acordo com Acosta-Motos *et al.* (2017), processos adaptativos à salinidade envolvem absorção, transporte e redistribuição dos sais em vários órgãos da planta (Acosta-Motos *et al.*, 2017). Dois mecanismos geralmente são usados. Em primeiro lugar, manter os sais longe dos tecidos metabolicamente ativos através da exclusão passiva de íons – por uma membrana permeável ou exclusão ativa – por bombas de íons. Em segundo lugar, a compartimentalização dos sais acumulados nos vacúolos das células vegetais (Munns, 2002; Munns; Tester, 2008; Hameed *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2017; Wu, 2018; Hurtado-Salazar *et al.*, 2022). Plantas tolerantes à salinidade são capazes de excluir o Na^+ no processo de absorção e manter elevada a concentração de K^+ na parte aérea sendo, portanto, a relação K^+/Na^+ nos tecidos das plantas um bom indicador de tolerância à salinidade, já que essa razão funciona como um marcador fisiológico e bioquímico da homeostase iônica (Lima *et al.*, 2020).

A produção de osmoprotetores e a ativação de enzimas favorecem a sobrevivência das plantas em ambientes salinos, sendo um exemplo disso, a prolina que além de osmorregulador, atua favorecendo o equilíbrio redox em células submetidas a estresses, como prevenção na formação de EROS, ao mesmo tempo em que atua como composto de reserva de nitrogênio (Liang *et al.*, 2013; El Moukhtari *et al.*, 2020). Para evitar o acúmulo de EROS, as plantas desenvolveram um eficiente mecanismo de defesa antioxidativo do qual participam algumas enzimas como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e glutatona peroxidase (GPX), que são marcadores de estresse (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). As peroxidases são oxidorredutases que reduzem o H_2O_2 , formando água e O_2 (Hussain *et al.*, 2018).

Caracteres do enraizamento (comprimento, volume, diâmetro, profundidade e peso), bem como produção de biomassa aérea (matéria seca) também traduzem respostas de tolerância das plantas a salinidade (Fageria *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2023). O estresse salino reduziu características morfofisiológicas de *P. edulis*, como altura, clorofila total e condutância estomática, o que afetou seriamente o crescimento da planta (Moura *et al.*, 2019). No entanto, espécies silvestres do gênero como *P. mucronata*, *P. gibertii* e *P. cincinnata* foram classificadas como tolerantes por apresentarem seletividade de absorção de Na^+ e manutenção dos níveis de K^+ , permitindo a manutenção da condutância e

funcionalidade estomática sem redução da fotossíntese; menores alterações anatômicas; com as células do feixe do xilema mais compactadas e organizadas em relação ao *P. edulis* (Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021).

A variabilidade das culturas é uma evidência para a necessidade de pesquisas que objetivem identificar genótipos tolerantes aos efeitos deletérios da salinidade (Gheyi *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2024). O manejo desse estressor abiótico através da recuperação de terras salinizadas ou técnicas de irrigação melhoradas são caros e não proporciona uma solução a longo prazo (Arzani, 2008). O uso de genótipos tolerantes é uma estratégia econômica, sustentável e efetiva (Alam *et al.*, 2021; Begum *et al.*, 2022), o que torna essencial a identificação de fontes genéticas e posterior incorporação aos programas de melhoramento (Raza, 2021).

Os bancos de germoplasma, distribuídos em todo o mundo, fornecem um meio prático para estudos de triagem e melhoramento de plantas, pois dispõem de ampla variabilidade genética e possibilitam a seleção de materiais promissores (El-Fattah *et al.*, 2020). As estratégias utilizadas para identificar fontes de tolerância à salinidade são variadas e incluem: triagem em condições de campo (Moustafá *et al.*, 2021) e em ambientes controlados, por meio de sistemas hidropônicos (Yasmin *et al.*, 2020), semi-hidropônicos (Lima *et al.*, 2020); testes de germinação de sementes (Li *et al.*, 2022) e outros meios artificiais, como bioensaios com discos foliares (Roy; Chakraborty, 2017) e cultura *in vitro* (Ahmed *et al.*, 2020).

A triagem em campo é laboriosa, de modo geral, devido às condições climáticas, flutuações sazonais de precipitação e heterogeneidade do solo (Ismail; Horie, 2017). Tais dificuldades podem ser minimizadas em ambientes controlados, pela possibilidade de proporcionar níveis de salinidade, pH e condições de nutrição uniformes nos meios de cultivo, além de permitirem a compreensão dos diferentes mecanismos de tolerância ao estresse salino em um menor tempo (Uzair *et al.*, 2022). Para o maracujazeiro não há registrado na literatura uma metodologia de triagem estabelecida (Lima *et al.*, 2020), embora para outras culturas mais profundamente estudadas acerca da salinidade, os testes de germinação e avaliação morfofisiológica em sistemas hidropônicos tenham se tornado importantes para aumentar o conhecimento acerca do potencial das espécies para tolerância aos efeitos do sal (Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2023; Marques *et al.*, 2024).

REFERÊNCIAS

- ABD EL-FATTAH, B.E., HARIDY, A. G., ABBAS, H.S. Response to planting date, stress tolerance and genetic diversity analysis among okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.) varieties. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 67, n. 4, p. 831-851, 2020.
- ACOSTA-MOTOS, J.R., HERNÁNDEZ, J.A., ÁLVAREZ, S., BARBA-ESPÍN, G., SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. The long-term resistance mechanisms and irrigation critical threshold showed by *Eugenia myrtifolia* plants in response to saline reclaimed water and relief capacity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 111, n. 1, p. 244-256, 2017.
- AEBI, H. Catalase in vitro. **Methods in Enzymology**, v. 105, p. 121-126, 1984.
- AHMED, B.A.E., MORITANI, I.S. Effect of saline water irrigation and manure application on the available water. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 165-170, 2010.
- ALAM, M.S., TESTER, M., FIENE, G., MOUSA, M.A.A. Early growth stage characterization and the biochemical responses for salinity stress in tomato. **Plants**, v. 10, n. 4, p. 712, 2021.
- ALELO VEGETAL. Acessos do Banco Ativo de Germoplasma de Maracujá da Embrapa Mandioca e Fruticultura: dados do passaporte, 2025. Disponível em: <https://av.cenargen.embrapa.br/avconsulta/Passaporte/bancoAcesso.do?idb=347>. Acesso em: 25 de junho de 2025.
- ALFOSEA-SIMÓN, M., ZAVALA-GONZALEZ, E. A., CAMARA-ZAPATA, J. M., MARTÍNEZ-NICOLÁS, J. J., SIMÓN, I., SIMÓN-GRAO, S., GARCÍA-SÁNCHEZ, F. Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system. **Scientia Horticulturae**, v. 272, p. 109509, 2020.
- ALI, Q., DAUD, M.K., HAIDER, M.Z.; ALI, S., RIZWAN, M., ASLAM, N., NOMAN, A., IQBAL, N., SHAHZAD, F., DEEBA, F., ALI, I.; ZHU, S.J. Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 119, p. 50-58, 2017.
- AMJAD, M., ANWAR, M. N., SHAFIQ, M., IMRAN, M., ALI, Q., IQBAL, M. Seed priming with gibberellic acid induces high salinity tolerance in *Capsicum annuum* through antioxidants, secondary metabolites and up-regulation of antiporter genes. **Journal of Plant Physiology**, v. 229, p. 1-10, 2007.
- ANDRADE, E.M., LIMA, G.S.D., LIMA, V.L.D., SILVA, S.S.D., DIAS, A.S., GHEYI, H.R. Hydrogen peroxide as attenuator of salt stress effects on the physiology and biomass of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 8, p. 571-578, 2022.
- ANDRADE, J.R., SOUSA MEDEIROS, A., MAIA JÚNIOR, S.D.O., PAULA REZENDE, L., ARAÚJO NETO, J.C. Germination and morphophysiology of passion fruit seedlings under salt water irrigation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, p. 229-236, 2018.
- APEL, K., HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 373-399, 2004.
- ATAÍDE, E.M., OLIVEIRA, J.C., RUGGIERO, C. Florescimento e frutificação do maracujazeiro silvestre *Passiflora setacea* D.C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 377-381, 2012.

AYERS, R.S., WESTCOT, D.W. **A qualidade da água para irrigação**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999.

BATES, L.S., WALDREN, R.P., TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.

BEGUM, N., HASANUZZAMAN, M., LI, Y., AKHTAR, K., ZHANG, C., ZHAO, T. Seed germination behavior, growth, physiology and antioxidant metabolism of four contrasting cultivars under combined drought and salinity in soybean. **Antioxidants**, v. 11, p. 498, 2022.

BERNACCI, L.C., CERVI, A.C., MILWARD-DE-AZEVEDO, M.A., NUNES, T.S., IMIG, D.C., MEZZONATO, A.C. **Passifloraceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB182>. Acesso em: 08 de dezembro de 2023.

BEZERRA, J.D., PEREIRA, W.E., SILVA, J.M., RAPOSO, R.W.C. Crescimento de dois genótipos de maracujazeiro-amarelo sob condições de salinidade. **Revista Ceres**, v. 59, n. 4, p. 527-535, 2016.

CARRILLO-RECHE, J., HURST, R., STURROCK, C. J., MOORE, J. D., STEPHENS, J., WILSON, R., HARRISON, R.J. Seed priming mitigates high salinity impact on germination of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving carbohydrate and protein mobilization. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 247–257, 2021.

CASTRO, J.A., NEVES, C.G., JESUS, O.N., OLIVEIRA, E.J. Definition of morpho-agronomic descriptors for the characterization of yellow passion fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 145, p. 17-22, 2012.

CAUZ-SANTOS, L.A., MUNHOZ, C.F., RODDE, N., CAUET, S., SANTOS, A.A., PENHA, H. A., Dornelas, M.C., Varani, A.M., Oliveira, G.C.X., BERGÈS, H., VIEIRA, M.L.C. The chloroplast genome of *Passiflora edulis* (Passifloraceae) assembled from long sequence reads: structural organization and phylogenomic studies in Malpighiales. **Frontiers Plant Science**, v. 8, p.1-17, 2017.

CERQUEIRA-SILVA, C.B.M., JESUS, O.N., SANTOS, E.S., CORRÊA, R.X., SOUZA, A.P. Genetic breeding and diversity of the genus *Passiflora*: progress and perspectives in molecular and genetic studies. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 8, p. 14122-14152, 2014.

DEHNAVI, A.J., ZAHEDI, M., LUDWICZAK, A., CARDENAS PEREZ, S., PIERNIK, A. Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. **Agronomy**, v. 10, p. 859, 2020.

EKBIC, E., CAGIRAN, C., KORKMAZ, K., KOSE, M.A., ARAS, V. Assessment of watermelon accessions for salt tolerance using stress tolerance indices. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, p. 616-625, 2017.

EL MOUKHTARI, A., CABASSA-HOURTON, C., FARISSI, M., SAVOURÉ, A. How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development? **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 553924, 2020.

EL SABAGH, A., ISLAM, M.S., SKALICKY, M., ALI RAZA, M., SINGH, K., ANWAR HOSSAIN, M., ARSHAD, A. Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and management strategies. **Frontiers in Agronomy**, v. 3, p. 661932, 2021.

EL-HENDAWY, S.E., AL-SUHAIBANI, N.A., HASSAN, W.M., DEWIR, Y.H., ELSAYED, S., AL-ASHKAR, I., SCHMIDHALTER, U. Evaluation of wavelengths and spectral reflectance indices for high-throughput assessment of growth, water relations and ion contents of wheat irrigated with saline water. **Agricultural Water Management**, v. 212, p. 358-377, 2019.

EL-HENDAWY, S., AL-SUHAIBANI, N., MUBUSHAR, M., TAHIR, M.U., MAREY, S., REFAY, Y., TOLA, E. Combining hyperspectral reflectance and multivariate regression models to estimate plant biomass of advanced spring wheat lines in diverse phenological stages under salinity conditions. **Applied Sciences**, v. 12, n. 4, p. 1983, 2022.

FAGERIA, N.K., SOARES FILHO, W., GHEYI, H. R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Ghey, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C.F. (Eds.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. 2010, p.130-141.

FALEIRO, F.G., JUNQUEIRA, N.T.V., JUNGHANS, T.G., JESUS, O. N., MIRANDA, D., OTONI, W.C., 2019. Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, p. 155, 2019.

FERREIRA, J.F.S., LIU, X., SUDDARTH, S.R.P., NGUYEN, C., SANDHU, D. NaCl accumulation, shoot biomass, antioxidant capacity, and gene expression of *Passiflora edulis* f. Flavicarpa Deg. in response to irrigation waters of moderate to high salinity. **Agriculture**, v. 12, p. 1856, 2022.

FIGUEIREDO, D., COLOMEU, T.C., SCHUMACHER, N.S.G., STIVANIN-SILVA, L.G., CAZARIN, C.B.B., MELETTI, L. M.M., FERNANDES, L.G.R., PRADO, M.A., ZOLLNER, R. L. Aqueous leaf extract of *Passiflora alata* Curtis promotes antioxidant and anti-inflammatory effects and consequently preservation of NOD mice beta cells (non-obese diabetic). **International Immunopharmacology**, v. 35, p. 127-136, 2016.

FREIRE, J.L.O., CAVALCANTE, L.F., REBEQUI, A., DIAS, T.J., NUNES, J.C., CAVALCANTE, Í.H.L. Atributos qualitativos do maracujá amarelo produzido com água salina, biofertilizante e cobertura morta no solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 102-110, 2010.

GAUR, M. K., SQUIRES, V. R. Drylands under a climate change regime: Implications for the land and the pastoral people they support. In: **Climate variability impacts on land use and livelihoods in drylands**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 319-334.

GHEYI, H.R., SANDHU, D., LACERDA, C.F. Fields of the future: pivotal role of biosaline agriculture in farming. **Agriculture**, v. 13, n. 9, p. 1774, 2023.

GILL, S.S., TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GIORDANO, M., PETROPOULOS, S.A., ROUPHAEL, Y. Response and defence mechanisms of vegetable crops against drought, heat and salinity stress. **Agriculture**, v. 11, p. 463, 2021.

GONÇALVES, Z.S., LIMA, L.K.S., SOARES, T.L., DE SOUZA, E.H., JESUS, O.N. Leaf anatomical aspects of CABMV infection in *Passiflora* spp. by light and fluorescence microscopy. **Australasian Plant Pathology**, v. 50, p. 203-215, 2021.

GONÇALVES, Z.S., LIMA, L.K.S., SOARES, T.L., ABREU, E.F.M., BARBOSA, C.J., CERQUEIRA-SILVA, C.B.D.M., JESUS, O.N., OLIVEIRA, E.J. Identification of *Passiflora* spp.

genotypes resistant to Cowpea aphid-borne mosaic virus and leaf anatomical response under controlled conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 231, p. 166-178, 2018.

GONDIM, F.A.; GOMES-FILHO, E.; LACERDA, C.F.; PRISCO, J. T.; AZEVEDO NETO, A. D.; MARQUES, E.C. Pretreatment with H₂O₂ in maize seeds: effects on germination and seedling acclimation to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 2, p. 103-112, 2010

HASANUZZAMAN, M., BHUYAN, M.H.M.B., ZULFIQAR, F., RAZA, A., MOHSIN, S.M, MAHMUD, J.A., FUJITA, M., FOTOPOULOS, V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. **Antioxidantes**, v. 9, p. 681, 2020.

HASANUZZAMAN, M., RAIHAN, M.R.H., MASUD, A.A.C., RAHMAN, K., NOWROZ, F., RAHMAN, M., NAHAR, K., FUJITA, M. Regulation of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Salinity. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, p. 9326, 2021.

HMISSI, M., CHAIEB, M., KROUMA, A. Differences in the physiological indicators of seed germination and seedling establishment of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars subjected to salinity stress. **Agronomy**, v. 13, p. 1718, 2023.

HOSSAIN, M.S. Present scenario of global salt affected soils, its management and importance of salinity research. **International Journal of Biological Sciences**, v. 1, n. 1, p. 1-3, 2019.

HUANG, Y., GUAN, C., LIU, Y., CHEN, B., YUAN, S., CUI, X., ZHANG, Y., YANG, F. Enhanced growth performance and salinity tolerance in transgenic switchgrass via overexpressing vacuolar Na⁺ (K⁺)/H⁺ antiporter gene (PvNHX1). **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2017.

HURTADO-SALAZAR, A., CEBALLOS-AGUIRRE, N., OCAMPO-PÉREZ, J. Chapter 3. Ecophysiology and grafted fruit quality in *Passiflora* species. **Passiflora: Genetic, grafting and biotechnology approaches**. Nova Science Publisher, New York, 2021. p. 101-136.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola em 2024**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 20 de abril de 2025.

IGNAT, T., SHAVIT, Y., RACHMILEVITCH, S., KARNIELI, A. Spectral monitoring of salinity stress in tomato plants. **Biosystems Engineering**, v. 217, p. 26-40, 2022.

ISMAIL, A.M.; HORIE, T. Genetic enhancement of salt tolerance in rice: progress and prospects. **Plant Cell & Environment**, v. 30, n. 5, p. 607-619, 2007.

JAMEEL, J., ANWAR, T., SIDDIQI, E.H., ALOMRANI, S.O. Alleviation of NaCl stress in tomato varieties by promoting morpho-physiological attributes and biochemical characters. **Scientia Horticulturae**, v. 323, p. 112496, 2024.

JESUS, O.N., LIMA, L.K.S., SANTOS, I.S., SANTOS, M.A., ROSA, R.C.C. Bright red passion fruit-evaluation of colorimetry and physicochemical quality for the fresh fruit market. **Scientia Horticulturae**, v. 317, p. 112016, 2023.

JESUS, O.N., LIMA, L.K.S., SOARES, T. L., DA SILVA, L.N., SANTOS, I.S., SAMPAIO, S. R., DE OLIVEIRA, E.J. Phenotypic diversity and alternative methods for characterization and prediction of pulp yield in passion fruit (*Passiflora* spp.) germplasm. **Scientia Horticulturae**, v. 292, p. 110573, 2022.

JESUS, O.N., OLIVEIRA, E.J., FALEIRO, F.G., SOARES, T.L., GIRARDI, E.A. **Illustrated morpho-agronomic descriptors** for *Passiflora* spp. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, 2017.

JESUS, O.N., SOARES, T.L., OLIVEIRA, E.J., SANTOS, T.C.P., FARIAS, D.H., BRUCKNER, C.H., NOVAES, Q.S. Dissimilarity based on morphological characterization and evaluation of pollen viability and in vitro germination in *Passiflora* hybrids and backcrosses. **Acta Horticulturae**, v. 1, p. 401-408, 2016.

JIN, X., CHEN, X., XIAO, L., SHI, C., CHEN, L., YU, B., YAMADA, T. Application of visible and near-infrared spectroscopy to classification of *Miscanthus* species. **PloS One**, v. 12, n. 4, p. 0171360. 2017a.

JIN, X., SHI, C., YU, C.Y., YAMADA, T., SACKS, E.J. Determination of leaf water content by visible and near-infrared spectrometry and multivariate calibration in *Miscanthus*. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 721, 2017b.

KAR, M., MISHRA, D. Control of leaf senescence by calcium. **Plant Physiology**, v. 57, n. 2, p. 315–319, 1976.

KHAN, V., IQBAL, N., UMAR, S., AHMAD, S. Assessing salt resilience in mustard: Growth, yield, tolerance indicators, and metabolite profiling to decipher the mechanism of salt tolerance in selected cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, v. 228, p. 106033, 2024.

LI, Y., LIANG, L., LI, W., ASHRAF, U., MA, L., TANG, X., PAN, S., TIAN, H., MO, Z. ZnO nanoparticle-based seed priming modulates early growth and enhances physio-biochemical and metabolic profiles of fragrant rice against cadmium toxicity. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 19, p. 1-19, 2021.

LIMA, G.S., PINHEIRO, F.W.A., GHEYI, H.R., ANJOS SOARES, L.A., SOARES, M.D.M., SILVA, F.A., DE LIMA, V.L.A. Postharvest quality of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water and potassium application in two crop cycles. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 233, p. 452, 2022b.

LIMA, G.S., PINHEIRO, F.W.A., GHEYI, H.R., SOARES, L.A.A., SOUSA, P.F.N., FERNANDES, P.D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 180-189, 2022a.

LIMA, G.S., SILVA, A.A.R., TORRES, R.A.F., SOARES, L.A.D.A., GHEYI, H.R., SILVA, F.A., LIMA, V.L.A. NPK Accumulation, physiology, and production of sour passion fruit under salt stress irrigated with brackish water in the phenological stages and K fertilization. **Plants**, v. 12, n. 7, p. 1573, 2023.

LIMA, L.K.S., JESUS, O.N., SOARES, T.L., SANTOS, I.S., OLIVEIRA, E.J.; COELHO FILHO, M. A. Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 263, p. 1-15, 2020.

LIMA, L.K.S.; SOARES, T.L.; SOUZA, E.H.; JESUS, O.N.; GIRARDI, E.A. Initial vegetative growth and graft region anatomy of yellow passion fruit on *Passiflora* spp. rootstocks. **Scientia Horticulturae**, v. 215, p. 134-141, 2017.

- LOPES, F.B., ANDRADE, E.M.D., MEIRELES, A., BECKER, H., BATISTA, A.A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 437-445, 2014.
- LUGASSI, R., GOLDSHLEGER, N., CHUDNOVSKY, A. Studying vegetation salinity: from the field view to a satellite-based perspective. **Remote Sensing**, v. 9, p. 1-16, 2017.
- LUGASSI, R., ZAADY E. GOLDSHLEGER, N., SHOSHANY, M., CHUDNOVSKY, A. Spatial and temporal monitoring of pasture ecological quality: sentinel-2-based estimation of crude protein and neutral detergent fiber contents. **Remote Sensing**, v. 11, p. 1-28. 2019.
- M'SEHLI, W., HAMDANI, Y., BEN JEMAA, H., BEN SALAH, I., HANNACHI, C., ZOGHLAMI, N. Salt priming as a smart approach to mitigate salt stress in faba bean (*Vicia faba* L.). **Plants**, v. 11, n. 12, p. 1610, 2020.
- MARQUES, I.C.S, RODRIGUES, J.D., ONO, E.O., SILVA, D.M.R., BISPO, G.L., OLIVEIRA, F.A. Protective effect of nitric oxide on lettuce plants subjected to salt stress in semi-hydroponic system. **Acta Physiologiae Plantarum**, 46, 2, 1-11, 2024.
- MELETTI, L.M.M. Avanços na cultura do maracujazeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Volume Especial, p. 83-91, 2011.
- MELO, C.A.F., SOUZA, M.M., VIANA, A.P., SANTOS, E. A., SOUZA, V.O., CORRÊA, R.X. Morphological characterization and genetic parameter estimation in backcrossed progenies of *Passiflora* L. for ornamental use. **Scientia Horticulturae**, v. 212, p. 91-103, 2016.
- MEZA, N., ARIZALETA, M., BAUTISTA, D. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). **Revista de la Facultad de Agronomía**, Caracas, v. 24, p. 69-80, 2007.
- MISRA, H.P., FRIDOVICH, I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 247, n. 10, p. 3170-3175, 1972.
- MITTLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Science**, v. 7, p. 405-410, 2002.
- MOKHTARI, M.H., SODAEZADEH, H.R., HAKIMZADEH, M.A., TARIGHAT, F. Application of visible and near-infrared spectrophotometry for detecting salinity effects on wheat leaves (*Triticum aestivum* L.). **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**. v. 16, p. 35-42, 2014.
- MONTAÑA, L.A., FISCHER, G., MAGNITSKIY, S., ZULUAGA, G. Effect of NaCl salinity on seed germination and seedling emergence of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). **Agronomía Colombiana**, v. 32, p. 188-195, 2014.
- MOURA, R.S., GHEYI, H.R., COELHO, M.F., JESUS, O.N., SILVA SÁ, F.V., LIMA, L.S. Tolerance of passion fruit species under salt stress. **International Journal of Current Research**, v. 8, p. 37689-37695, 2017.
- MOURA, R.D.S., SOARES, T.L., LIMA, L.K.S., GHEYI, H.R., JESUS, O.N., COELHO FILHO, M.A. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of *Passiflora edulis* Sims plants propagated by different methods. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, p. 1692-1706, 2020.

- MOURA, R.S, RAJ GHEYI, H., LIMA CRUZ, A., DA SILVA NASCIMENTO, B., PINTO DE MENEZES, E., COELHO FILHO, M.A. Propagation of yellow passion fruit seedlings by cutting, grafting and seeds under salt stress. **Bioscience Journal**, v. 38, p. 38062, 2022.
- MOURA, R.S, SOARES, T.L., LIMA, L.K.S., GHEYI, H.R., DIAS, E.A., JESUS, O.N., COELHO FILHO, M.A. Effects of salinity on growth, physiological and anatomical traits of *Passiflora* species propagated from seeds and cuttings. **Brazilian Journal of Botany**, v. 44, p. 17-32, 2021.
- MOUSTAFÁ, E.S., ALI, M.M., KAMARA, M.M., AWAD, M.F., HASSANIN, A.A., MANSOUR, E. Field screening of wheat advanced lines for salinity tolerance. **Agronomy**, v. 11, p. 281, 2021.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 239-250, 2002.
- MUNNS, R., TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.
- MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops - what is the cost?. **New Phytologist**, v. 208, n. 3, p. 668-673, 2015.
- NAJAR, R., AYDI, S., SASSI-AYDI, S., ZARAI, A., ABDELLY, C. Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 153, n. 1, p. 88-97, 2019.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.
- NASCIMENTO, E.S., CAVALCANTE, L.F., GONDIM, S.C., SOUZA, J.T.A., BEZERRA, F.T.C., BEZERRA, M.A.F. Formação de mudas de maracujazeiro amarelo irrigadas com águas salinas e biofertilizantes de esterco bovino. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 1, p. 1-8, 2017.
- NASCIMENTO, J.A.M.; CAVALCANTE, L.F.; SANTOS, P.D.; SILVA, S.A.; VIEIRA, M. DA S.; OLIVEIRA, A.P. Efeito da utilização de biofertilizante bovino na produção de mudas de pimentão irrigadas com água salina. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 258-264, 2011.
- NEGRÃO, S., SCHMÖCKEL, M., TESTER, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Annals of Botany**, v. 119, n. 1, p. 1-11, 2017.
- NEVES, C.G., JESUS, O.N., LEDO, C.A.S., OLIVEIRA, E.J. Avaliação agronômica de parentais e híbridos de maracujazeiro-azedo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 191-198, 2013.
- OCAMPO, J.P., D'EECKENBRUGGE, G.C. Morphological characterization in the genus *Passiflora* L.: an approach to understanding its complex variability. **Plant Systematics and Evolution**, v. 303, p. 531-558, 2017.
- OCAMPO, J., MARÍN, V., URREA, R. Agro-morphological characterization of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) reveals elite genotypes for a breeding program in Colombia. **Agronomía Colombiana**, v. 39, n. 2, p. 156-176, 2021.
- OCAMPO, J., ARIAS, J.C., URREA, R. Interspecific hybridization between cultivated and wild species of genus *Passiflora* L. **Euphytica**, v. 209, p. 395-408, 2016.

OLIVEIRA, D.A., ANGONESE, M., GOMESB, C., FERREIRA, S.R.S. Valorization of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) by-products: sustainable recovery and biological activities. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 111, p. 55-62, 2016.

OLIVEIRA, E.J., FREITAS, J.P.X., JESUS, O.N. Adaptability and stability analysis of the juice yield of yellow passion fruit varieties. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, p. 6512-6527, 2014.

OLIVEIRA, F. A., LOPES, M.A.C., SÁ, F.V.S., NOBRE, R.G., MOREIRA, R.C.L., SILVA, L. A., PAIVA, E.P. Interação salinidade da água de irrigação e substratos na produção de mudas de maracujazeiro amarelo. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 4, p. 471-478, 2015.

RASEL, M., TAHJIB-UL-ARIF, M., HOSSAIN, M.A., HASSAN, L., FARZANA, S., BRESTIC, M. Screening of salt-tolerant rice landraces by seedling stage phenotyping and dissecting biochemical determinants of tolerance mechanism. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 1853-1868, 2021.

RAZA, A. Eco-physiological and biochemical responses of rapeseed (*Brassica napus* L.) to abiotic stresses: consequences and mitigation strategies. **Journal Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 1368-1388, 2021.

ROŞCA, M., MIHALACHE, G., STOLERU, V. Tomato responses to salinity stress: From morphological traits to genetic changes. **Frontiers in plant science**, v. 14, p. 1118383, 2023.

SANTOS, A.S., AMORIM, E.P., ALMEIDA, A.A.F., FERREIRA, C.F., COELHO FILHO, M.A., PIROVANI, C.P. Diversity of banana diploid hybrids: An assessment based on a hydroponic system. **Plant breeding**, v. 139, n. 6, p. 1251-1265, 2020.

SANTOS, E.A., VIANA, A.P., DE OLIVEIRA FREITAS, J.C., DE LIMA E SILVA, F.H., RODRIGUES, R., EIRAS, M. Resistance to Cowpea aphid-borne mosaic virus in species and hybrids of *Passiflora*: advances for the control of the passion fruit woodiness disease in Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 143, p. 85-98, 2015.

SANTOS, I.S DOS, JESUS, O.N., SAMPAIO, S.R., GONÇALVES, Z.S., SOARES, T.L., FERREIRA, J.R.S., LIMA, L.K.S. Salt tolerance strategy in passion fruit genotypes during germination and seedling growth and spectrophotometric quantification of hydrogen peroxide (H₂O₂). **Scientia Horticulturae**, v. 338, p. 113818, 2024a

SANTOS, I.S., JESUS, O.N., FIÚZA JÚNIOR, F.J.S., COELHO FILHO, M.A., SANTANA, J. R.F., LIMA, L.K.S. Determination of the Critical Level of Saline Stress in Yellow Passion Fruit Seedlings with Two Phenological Phases. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1-17 2025.

SANTOS, I.S., LIMA, L.K. S., SAMPAIO, S.R., SOARES, T.L., JESUS, O.N. Genetic parameters and prediction of genotypic values in a segregating population of *Passiflora* BC3 [(*P. edulis* x *P. cincinnata*) x *P. edulis*] for fruit quality and resistance to cowpea aphid-borne mosaic virus using REML/BLUP. **Scientia Horticulturae**, v. 330, p. 113023, 2024b.

SANTOS, I.S., LIMA, L.K.S., SAMPAIO, S.R., SOARES, T.L., JESUS, O.N. Phenological precocity and resistance to CABMV in passion fruit progenies of the third generation backcross [(*P. edulis* x *P. cincinnata*) x *P. edulis*]. **Euphytica**, v. 217, n. 6, p. 112, 2021.

SANTOS, S.T., OLIVEIRA, F.D.A., OLIVEIRA, G.B.S., OLIVEIRA, M.K.T., ALVES, A.S, CORDELRO, C.J.X., OLIVEIRA, C.E.A. Tolerance of basil cultivars to salt stress in semi-hydroponic cultivation. **Comunicata Scientiae**, v. 14, p. 1-10, 2023.

SILVA, G.S.; SOUZA, M.M. Origin of the cultivated passion fruit *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* and genomic relationships among species of the subgenera *Decaloba* and *Passiflora*. **Plant Biology**, v. 22, n. 3, p. 533-540, 2020.

SIMIRGIOTIS, M.J.; SCHMEDA-HIRSCHMANN, G.; BÓRQUEZ, J.; KENNELLY, E.J. The *Passiflora tripartite* (Banana Passion) Fruit: A Source of Bioactive Flavonoid C-Glycosides Isolated by HSCCC and Characterized by HPLC–DAD–ESI/MS/MS. **Molecules**, v. 18, p. 1672-1692, 2013.

SINGH, R.B., RAO, V.P., SENGAR, R.S. Study of salinity induced oxidative stress and antioxidant responses in callus cultures of sugarcane. **Ecological Genetics and Genomics**, v. 26, p. 100164, 2023.

SIVAKUMAR, J., PRASHANTH, J.E.P., RAJESH, N., REDDY, S.M., PINJARI, O.B. Principal component analysis approach for comprehensive screening of salt stress-tolerant tomato germplasm at the seedling stage. **Journal of biosciences**, v. 45, p. 1-11, 2020.

SOUSA, H.C., SOUSA, G.G.D., CAMBISSA, P.B., LESSA, C.I., GOES, G.F., SILVA, F.D.D., VIANA, T.V.D.A. Gas exchange and growth of zucchini crop subjected to salt and water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 11, p. 815-822, 2022.

SOUTO, L.A.G., CAVALCANTE, L.F., MELO, E.N., CAVALCANTE, Í.H.L., SILVA, R.Í.L., LIMA, G.S., OLIVEIRA MESQUITA, F. Salinity and mulching effects on nutrition and production of grafted sour passion fruit. **Plants**, v. 12, p. 1035, 2023.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I.M., MURPHY, A. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal**, six ed. Artmed, Porto Alegre, 2021.

TESTER, M., LANGRIDGE, P. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 818-822, 2010.

TLAHIG, S., BELLANI, L., KARMOUS, I., BARBIERI, F., LOUMEREM, M., MUCCIFORA, S. Response to salinity in legume species: An insight on the effects of salt stress during seed germination and seedling growth. **Chemistry & Biodiversity**, v. 18, 2p. 00091, 2021.

TOLA, E., AL-GAADI, K. A., MADUGUNDU, R., PATIL, V. C., SYGRIMIS, N. Impact of water salinity levels on the spectral behavior and yield of tomatoes in hydroponics. **Journal of King Saud University-Science**, v. 35, n. 2, p. 102515, 2023.

TORRE-GONZÁLEZ, A.; ALBACETE, A.; SÁNCHEZC, E.; BLASCO, B.; RUIZ, J.M. Comparative study of the toxic effect of salinity in different genotypes of tomato plants: carboxylates metabolism. **Scientia Horticulturae**, v. 217, n. 1, p. 173-178, 2017.

UZAIR, M. *et al.* Hydroponic screening at early seedling stage identified sources of salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) crop. **Agronomy**, v. 14, n. 5, p. 984, 2024.

VELIKOVA, V., YORDANOV, I., EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000.

WANG, H., TAKANO, T., LIU, S. Screening and evaluation of saline–alkaline tolerant germplasm of rice (*Oryza sativa* L.) in soda saline–alkali soil. **Agronomy**, v. 8, n. 10, p. 205, 2018.

WU, H. Plant salt tolerance and Na⁺ sensing and transport. **The Crop Journal**, v. 6, p. 215-225, 2018

ZHANG, YAN-SHU *et al.* Identification of the passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) MYB family in fruit development and abiotic stress, and functional analysis of PeMYB87 in abiotic stresses. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1124351, 2023.

CAPÍTULO 1

ESTRATÉGIA DE TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM GENÓTIPOS DE MARACUJÁ DURANTE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS E QUANTIFICAÇÃO ESPECTROFOTOMÉTRICA DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO (H₂O₂)¹

¹Artigo publicado no periódico *Scientia Horticulturae*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113818>.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo investigar o impacto da salinidade nas sementes de *Passiflora edulis* Sims e definir a dose crítica de NaCl capaz de causar danos à germinação e ao vigor das plântulas. Além disso, buscou-se avaliar o estresse oxidativo por meio da quantificação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em espécies contrastantes quanto à tolerância ao sal. Para isso, dois experimentos foram conduzidos. No primeiro, cinco genótipos de *P. edulis* foram avaliados sob seis níveis de condutividade elétrica da água (CEa = 0, 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹). No segundo experimento, foi determinado o teor de H_2O_2 em quatro espécies de *Passiflora* (*P. edulis*, *P. alata*, *P. gibertii* e *P. mucronata*) sob CEa = 0 e 9 dS m⁻¹. Com o aumento da concentração salina, observou-se uma redução significativa nos parâmetros de germinação e vigor das plântulas, sendo os efeitos mais acentuados em condutividades superiores a 9 dS m⁻¹. Em condições de salinidade elevada (15 dS m⁻¹), a redução na porcentagem de germinação e aumento no tempo médio de germinação foram de 74% e 53%, respectivamente, em comparação ao controle. O uso de uma escala de notas para avaliação fenotípica mostrou-se eficaz na indicação da dose crítica em estádios iniciais e na detecção da variação de resposta entre os genótipos. Após a remoção das condições salinas, as sementes previamente expostas a 9, 12 e 15 dS m⁻¹ apresentaram germinação de 18,9, 44,3 e 67,2%, respectivamente. No estudo de quantificação de H_2O_2 , foi observado maior acúmulo nas plântulas de *P. edulis* e *P. alata*, enquanto *P. mucronata* e *P. gibertii* apresentaram menores níveis. De modo geral, *P. edulis*, na fase de semente, é tolerante a níveis de salinidade abaixo de 6 dS m⁻¹, apresentando respostas críticas a partir de 9 dS m⁻¹. Os resultados obtidos neste estudo fornecem informações valiosas para subsidiar futuros trabalhos de triagem de genótipos de *Passiflora* tolerantes à salinidade em estádios iniciais de desenvolvimento.

Palavras-chave *Passiflora*. Salinidade. Germinação de sementes. Triagem. Genótipos tolerantes.

ABSTRACT

This study aimed to explore the impact of salinity on the seeds of *Passiflora edulis* Sims and to define the critical dose of NaCl capable of causing damage to germination and seedling vigor. Additionally, it aimed to assess oxidative stress by quantifying hydrogen peroxide (H_2O_2) in contrasting species regarding salt tolerance. For this purpose, two experiments were conducted. In the first experiment, five genotypes of *P. edulis* were evaluated under six levels of electrical conductivity of water ($EC_w = 0, 3, 6, 9, 12$, and 15 dS m^{-1}). In the second experiment, the H_2O_2 content was determined in four *Passiflora* species (*P. edulis*, *P. alata*, *P. gibertii* and *P. mucronata*) under $EC_w = 0$ and 9 dS m^{-1} . With the increase in salt concentrations, there was a significant reduction in germination and seedling vigor parameters, which were more pronounced at conductivities above 9 dS m^{-1} . Under high salinity levels (15 dS m^{-1}), the reduction in germination percentage and the increase in mean germination time were 74 % and 53 %, respectively, compared to the control. The use of a grading scale for phenotypic evaluation was effective in indicating the critical dose at an early stage and in highlighting the variation in response among the genotypes. After the removal of saline conditions, seeds subjected to 9, 12 and 15 dS m^{-1} achieved germination of 18.9 %, 44.3 % and 67.2 %, respectively. In the H_2O_2 quantification study, higher accumulation was observed in the seedlings of *P. edulis* and *P. alata*, while lower levels were noted in *P. mucronata* and *P. gibertii*. In general, *P. edulis* in the seed phase is tolerant to levels below 6 dS m^{-1} and presents critical responses from 9 dS m^{-1} upwards. The results obtained from this study provide valuable new information to support future works on screening of salt-tolerant *Passiflora* genotypes in early development stages.

Keywords Passionfruit. Salinity. Seeds germination. Screening. Tolerant genotypes

1 INTRODUÇÃO

A salinidade é um problema crescente para a agricultura (Hmissi *et al.*, 2023). Estima-se que 33% das terras agrícolas do mundo são irrigadas e altamente afetadas pela salinidade (Jameel *et al.*, 2024). No Brasil, os efeitos do estresse salino sob as culturas são relatados com maior frequência na região semiárida, onde as condições edafoclimáticas são marcadas por baixa pluviosidade, altas temperaturas e evapotranspiração elevada (Moura *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2022a). A região Nordeste do Brasil, onde predomina o clima semiárido, é responsável por cerca de 71% da produção nacional de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) (IBGE, 2023), sendo, portanto, ambiente altamente afetado pela salinidade.

Parte do problema da salinidade no semiárido se deve às fontes de água disponíveis para irrigação, que geralmente apresentam concentrações moderadas e altas de sais solúveis (Pinheiro *et al.*, 2022), contribuindo para o desequilíbrio nutricional do solo e consequente redução dos rendimentos (Lima *et al.*, 2022a; Lima *et al.*, 2022b). Outros fatores como o tipo de solo, o manejo, a espécie, o genótipo e o estágio de desenvolvimento, também indicam como a salinidade afeta as plantas cultivadas (Dehnavi *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2023). As respostas das espécies à salinidade são diversas (Li *et al.*, 2023) e dependem do nível e duração do estresse aplicado (Tlahig *et al.*, 2021; Chaudhary *et al.*, 2024), da variabilidade intra e interespecífica (Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021) e da fase a qual são expostas ao estresse (Dehnavi *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2020; Begum *et al.*, 2022).

A germinação de sementes é a primeira etapa do ciclo de vida da planta e os testes de germinação e de vigor são úteis para avaliar a qualidade fisiológica de sementes, bem como estimar seu potencial e desempenho em solos com alta concentração de sais solúveis, representando uma abordagem rápida e segura (Hmissi *et al.*, 2023). O teste de germinação é um dos métodos mais difundidos mundialmente para *screening* e determinação de tolerância ou sensibilidade das espécies à salinidade (Li *et al.*, 2023; Kaur *et al.*, 2023). Tanto a germinação como o crescimento de plântulas, são apontados como as fases mais sensíveis em culturas como arroz (Qin *et al.*, 2020; Russel *et al.*, 2021), sorgo (Dehnavi *et al.*, 2020) e tomate (Sivakumar *et al.*, 2020; Jameel *et al.*, 2024).

O estresse salino pode reduzir a porcentagem de germinação, devido às altas concentrações dos íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) que se tornam tóxicos às células e alteram a homeostase iônica afetando a capacidade das sementes em absorver água (Breria *et al.*, 2020; Soliman *et al.*, 2020). A interrupção da homeostase osmótica, iônica

e nutricional pela salinidade levam a alterações bioquímicas como a geração desbalanceada de espécies reativas de oxigênio (EROs), tais como radicais superóxido (O_2^-), hidroxila (OH^-) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Roşca *et al.*, 2023; Mukherjee *et al.*, 2024) que causam danos oxidativos a biomoléculas incluindo proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (Breria *et al.*, 2020; Hasanuzzaman *et al.*, 2021). O H_2O_2 atua como uma molécula sinalizadora durante o estresse, mobilizando enzimas que atuam na desintoxicação celular (Hasanuzzaman *et al.*, 2020; 2021; Taiz *et al.*, 2021; Mukherjee *et al.*, 2024). Embora alguns estudos tenham investigado a tolerância à salinidade em espécies de *Passiflora* (Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021), até o momento não há pesquisas científicas voltadas à avaliação bioquímica dessas plantas sob condições de estresse salino, especificamente quanto à quantificação de peróxido de hidrogênio. A triagem de genótipos de maracujá quanto à tolerância ao sal tem sido limitada pela ausência de métodos de avaliação eficazes. Portanto, uma melhor compreensão dos mecanismos subjacentes à tolerância à salinidade é fundamental para avançar nesse campo de estudo.

O maracujazeiro (*Passiflora edulis*) é cultivado em diversos países e apresenta significativa redução de produtividade devido à salinidade do solo (Soares *et al.*, 2002; Hurtado-Salazar, 2018). Nesse contexto, a exploração da variabilidade genética no gênero *Passiflora* é fundamental, pois permite identificar genótipos com tolerância ao sal entre as espécies silvestres. Para o uso eficaz de métodos baseados em testes de germinação de sementes, é essencial avaliar diferentes características e definir uma dose crítica de NaCl capaz de discriminar genótipos. Para *Passiflora*, diferentes concentrações já foram testadas em plantas em distintos estádios de desenvolvimento (Andrade *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021, 2022b; Souto *et al.*, 2023). O conhecimento sobre a sensibilidade da principal espécie cultivada comercialmente (*P. edulis*) é um indicador relevante para a definição da dose crítica de NaCl a ser utilizada como referência na identificação de genótipos tolerantes em programas de melhoramento genético. No entanto, ainda há escassez de informações sobre a sensibilidade das sementes dessa espécie (Montaña *et al.*, 2014; Andrade *et al.*, 2018).

A presente investigação foi conduzida com o objetivo de caracterizar a tolerância à salinidade, utilizando a espécie mais amplamente cultivada no Brasil (*P. edulis*) como referência para a identificação e seleção da dose crítica de sal (NaCl), bem como para a definição de critérios de triagem de genótipos tolerantes ao sal em estádios iniciais de desenvolvimento, a partir de bancos de germoplasma de *Passiflora*. Para isso, diferentes

concentrações de NaCl e um novo método foram empregados na análise da germinação de sementes e do crescimento de plântulas em espécies do gênero. Adicionalmente, foi realizado, pela primeira vez, um estudo visando identificar e quantificar o efeito do peróxido de hidrogênio no crescimento das plântulas, por meio do método espectrofotométrico, proporcionando uma nova perspectiva sobre a importância desse marcador bioquímico na compreensão da sensibilidade e da tolerância de espécies contrastantes de *Passiflora* ao estresse salino.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento e material vegetal

O experimento foi realizado no Laboratório de Conservação e Tecnologia de Sementes da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizado no município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil (12° 39' 25" S, 39° 07' 27" W, 222 m). Foram avaliados cinco acessos de *Passiflora edulis* Sims (BGP190, BGP418, BGP424, BGP427 e BGP436) oriundos de Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Embrapa.

As sementes foram obtidas de frutos maduros, originados por polinização controlada e recém-colhidos no campo. Os frutos foram abertos e o arilo removido manualmente por meio de fricção em peneira de malha fina e posteriormente em tecido de algodão. Em seguida, as sementes foram secas em bancada sobre papel por 72 horas com temperatura de 25 ± 2 °C. O conteúdo de água foi de 9,5% em média, sendo estimado a partir de cinco amostras de 10 sementes por acesso pelo método de estufa a 105 °C por 24 horas, conforme as recomendações das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×6 , sendo cinco acessos de *P. edulis* (BGP190, BGP418, BGP424, BGP427 e BGP436) e seis níveis de condutividade elétrica da água (CEa= 0, 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹), distribuídas em quatro repetições de 25 sementes totalizando 100 sementes por tratamento.

2.3 Preparo da solução salina e semeadura das sementes

As sementes foram submetidas a cinco níveis de condutividade elétrica da água (CEa= 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹) e seu controle (água destilada – CEa= 0 dS m⁻¹). Para o

preparo das soluções salinas, nas diferentes concentrações, utilizou-se um condutivímetro de bancada e as CE foram alcançadas mediante a diluição do cloreto de sódio (NaCl) na proporção de 1 g L⁻¹ de água destilada.

Para a semeadura, utilizou-se caixas acrílicas transparentes (gerbox) previamente desinfestadas com álcool 70% contendo três folhas de papel germitest (esterilizadas em estufa a 105 °C por 2 horas) umidificadas com 2,5 x o peso do papel com água destilada ou solução salina nos diferentes níveis. As gerbox foram semeadas com 25 sementes cada e alocadas em câmara de germinação (BOD - *Biochemical Oxygen Demand*) com temperatura alternada, sendo 20 °C por 16 horas e 30 °C por 8 horas, no escuro (Brasil, 2009). As avaliações da germinação foram diárias e transcorreram até os 28 dias após a semeadura – DAS (Brasil, 2009). Considerou-se germinadas as sementes que apresentaram emissão da radícula com $\geq 2,0$ mm.

2.4 Variáveis avaliadas

2.4.1 Germinação de sementes

Foram avaliadas a germinação (GER), expressa em porcentagem ($GER = \frac{NSG}{NTS} \times 100$); tempo médio de germinação (TPM) que é expresso em dias ($TPM = \sum_{i=1}^k \frac{n_i i}{n_i}$); taxa média de germinação (TXM), expressa em dias⁻¹ ($TXM = \frac{1}{TPM}$); sincronia (SIN) ($SIN = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{n_i (n_i - 1)}{2}}{N}$); incerteza ($INC = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{NSG} \log_2 \frac{n_i}{NSG}$) onde, *NSG* é o número de sementes germinadas; *NTS*, o número total de sementes; *n_i* é o número de sementes que germinaram no dia *i*; *i* é o número de dias contados a partir do início da germinação e varia de 0 (dia da embebição de umidade) a *k* (dia do término do experimento) e *N* é o tamanho do lote. Para cálculo do índice de velocidade de germinação (IVG), utilizou-se a fórmula $IVG = N_1/D_1 + N_2/D_2 + \dots + N_n/D_n$, em que o *N* é o número de sementes germinadas observadas no dia da contagem e *D*, o número de dias após a semeadura em que foi feita a contagem de sementes. As equações utilizadas para inferência das variáveis GER, TPM, TXM, SIN e INC foram preconizadas por Bhatt *et al.* (2020), com modificações e o IVG por Maguire (1946).

2.4.2 Massas fresca e seca das plântulas

Para avaliação da massa de matéria fresca (MFP) e seca (MSP) das plântulas (parte aérea e raiz), as sementes germinadas foram realocadas para novas gerbox contendo três folhas de papel germitest e umidificadas 2,5 x o peso do papel com água destilada ou

solução de NaCl nos diferentes níveis de CEa e acondicionadas em BOD com temperatura constante de 25 °C e fotoperíodo alternado com 12 horas no claro e 12 horas no escuro até o final do experimento (28 DAS). Foram utilizadas três repetições com três plântulas para cada acesso e dose de sal ou controle avaliadas. A massa seca foi obtida após secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C, até as amostras atingirem peso constante. A pesagem foi realizada com o auxílio de uma balança analítica.

2.5 Classificação das sementes e plântulas

Para avaliar os danos causados pelo estresse salino na qualidade das sementes e plântulas de *P. edulis* geradas nas diferentes CEa analisadas, criou-se uma escala de notas que varia de 1 a 6, sendo 1 para sementes não germinadas e 6 para plântulas com os cotilédones totalmente livres (Figura 1). Um total de 40 plântulas (repetições) foram avaliadas por tratamento. Para tal, utilizou-se as imagens das plântulas nas gerbox aos 20 DAS. As notas obtidas foram transformadas em porcentagem de sementes e/ou plântulas em determinada classe (%).

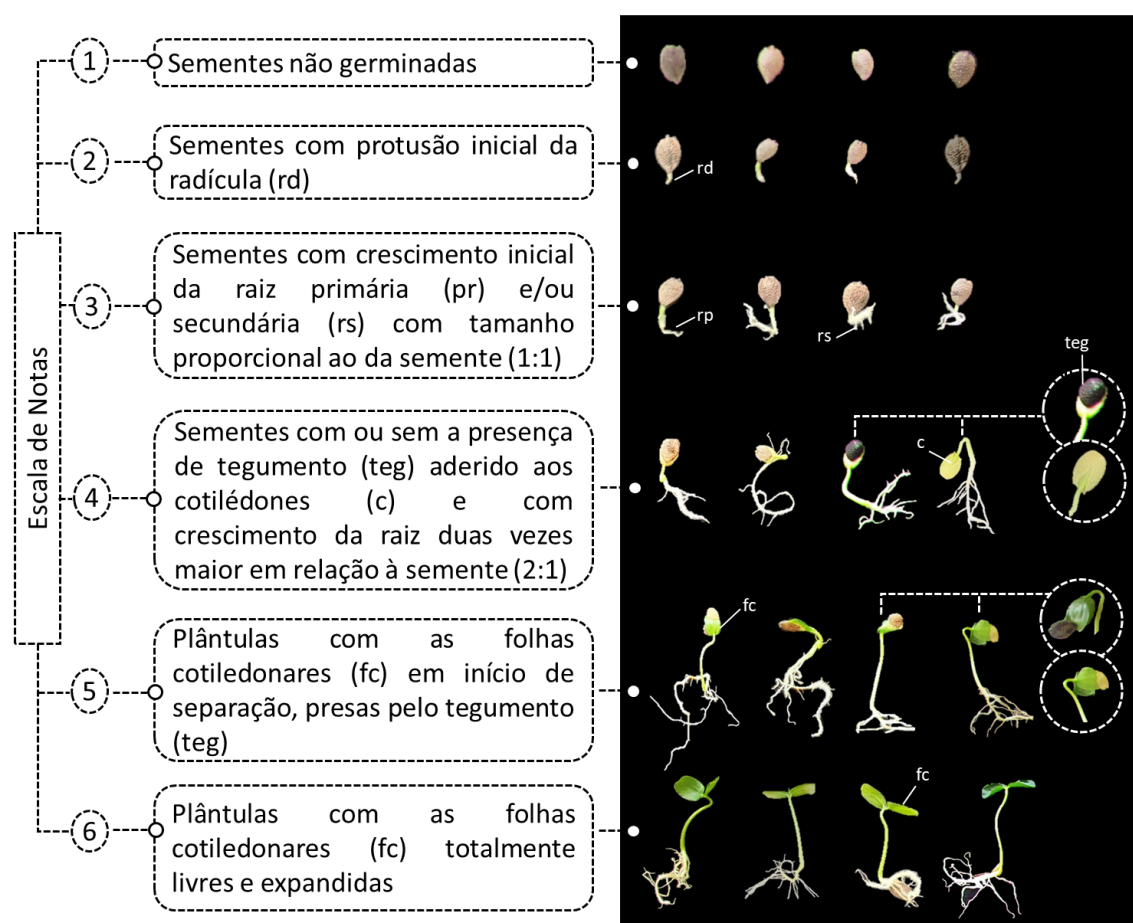


Figura 1. Escala de notas com variação de 1 a 6 para avaliação dos danos causados pelo estresse salino em sementes e plântulas de *Passiflora edulis* Sims.

2.6 Retomada da germinação após estresse

Ao final do experimento (28 DAS), as sementes não germinadas foram retiradas da condição salina, lavadas em água corrente e reinstaladas em gerbox contendo apenas água destilada ($\text{CEa} = 0 \text{ dS m}^{-1}$) e avaliadas em BOD nas mesmas condições. Do mesmo modo, as avaliações da germinação procederam até os 28 DAS, visando a comprovação da viabilidade das sementes pós-estresse salino.

2.7 Determinação do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em *Passiflora* spp.

Para determinar o H_2O_2 em plântulas de maracujá submetidas ao estresse salino, foram avaliadas quatro espécies do gênero *Passiflora* L. representados por acessos do BAG da Embrapa: *P. edulis* (BGP190), um híbrido intraespecífico de *P. alata* (OTH-157), *P. gibertii* (BGP008) e *P. mucronata* (BGP114). Para semeadura, utilizou-se 200 sementes (de frutos oriundos de polinização cruzada e recém-colhidos) por espécie, sendo 100 (4 repetições de 25 sementes) submetidas a CEa de 0 dS m^{-1} (água destilada) e 100 a CEa de 9 dS m^{-1} (solução de NaCl). A semeadura e avaliação da germinação seguiram a metodologia descrita anteriormente no item 2.3.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4×2 , sendo quatro espécies de *Passiflora* L. (*P. edulis*, *P. alata*, *P. gibertii* e *P. mucronata*) e dois níveis de condutividade elétrica da água ($\text{CEa} = 0$ e 9 dS m^{-1}), avaliadas aos 7, 14 e 21 dias após o transplantio (DAT) em três repetições por tratamento.

2.7.1 Transplantio das sementes germinadas e tempo de exposição ao estresse

Após a germinação, as sementes com radícula $\geq 2,0 \text{ mm}$ foram transplantadas para caixas de acrílico ($7,5 \times 7,5 \text{ cm}$) contendo 50 g de uma mistura composta por 70% de areia lavada e 30% de vermiculita®, umidificada com 50 mL de água destilada (controle) ou solução de NaCl (tratamento salino – 9 dS m^{-1}) e levadas para BOD com temperatura constante de 25°C e fotoperíodo alternado de 12 horas. Cada magenta foi composta por seis sementes germinadas e representou uma repetição.

2.7.2 Avaliação do teor de H_2O_2

O preparo e leitura das amostras foram preconizados por Velikova *et al.* (2000). Utilizou-se 0,30 g das plântulas frescas (parte aérea e raiz) e 5 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 0,1% para homogeneização e posterior centrifugação a 12.000 rpm por 15 min.

a 4 °C. A mistura da reação consistiu em 0,5 mL do sobrenadante do extrato da plântula, 0,5 mL a 10 mM do tampão fosfato de potássio (KH₂PO₄) ajustado ao pH 7,0 e 1,0 mL a 1 M de iodeto de potássio (KI). As amostras foram mantidas por uma hora no escuro e as leituras realizadas em espectrofotômetro, sendo a absorbância medida a 390 nm. A amostra em branco consistiu em água destilada, na ausência do extrato da plântula. A curva de calibração foi feita com base em uma diluição seriada (10⁻¹ a 10⁰) de H₂O₂ a 35% na presença de KH₂PO₄ e KI. A quantidade de H₂O₂ das amostras (nmol L⁻¹) foi dada com base na curva de calibração.

2.8 Análise dos dados

Os dados de germinação de sementes foram submetidos ao teste de normalidade e, quando necessário, foram transformados (*arc sen* $\sqrt{x}$). As médias foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e agrupadas pelo teste de Scott-knott ($p \leq 0,05$). Os dados da determinação do peróxido de hidrogênio foram submetidos ao teste t ($p \leq 0,05$) para comparação da influência do tempo de exposição das plântulas ao estresse salino dentro de cada espécie estudada.

Foram realizadas análises multivariadas de agrupamento associado ao *Heatmap* para avaliar a relação entre as variáveis estudadas e qual dessas contribuem de forma eficiente para a variação total disponível entre os acessos e doses de NaCl utilizadas. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico R e dos pacotes agricolae, ggplot e superheat (R Development Core Team, 2023).

3 RESULTADOS

3.1 Germinação de sementes de *P. edulis*

A porcentagem de germinação (GER) dos cinco acessos de *P. edulis* nos diferentes níveis de NaCl, diminuiu com o aumento da condutividade elétrica da água - CEa (Figura 2A). Para a maioria dos acessos, a emissão da radícula foi iniciada aos 4 DAS com GER variando de 4% (BGP190) a 40% (BGP424) no controle (0 dS m⁻¹) e abaixo de 5% quando submetidos a menor dose (3 dS m⁻¹) de NaCl (Figura 2B, C). A estabilização da germinação no tratamento controle ocorreu aos 16 DAS (Figura 2B) e pouca variação ocorreu nas demais CEa após esse período (Figura 2C-G). As alterações na porcentagem final da germinação entre os acessos foram mais evidentes a partir de 9 dS m⁻¹ (Figura 2E-G), sendo que nesta condutividade a variação foi de 66% a 94% para os acessos

BGP427 e BGP424, respectivamente (Figura 2E). As menores GER foram registradas na dose de 15 dS m⁻¹, variando de 3% para BGP418 a 38% para BGP424 (Figura 2G).

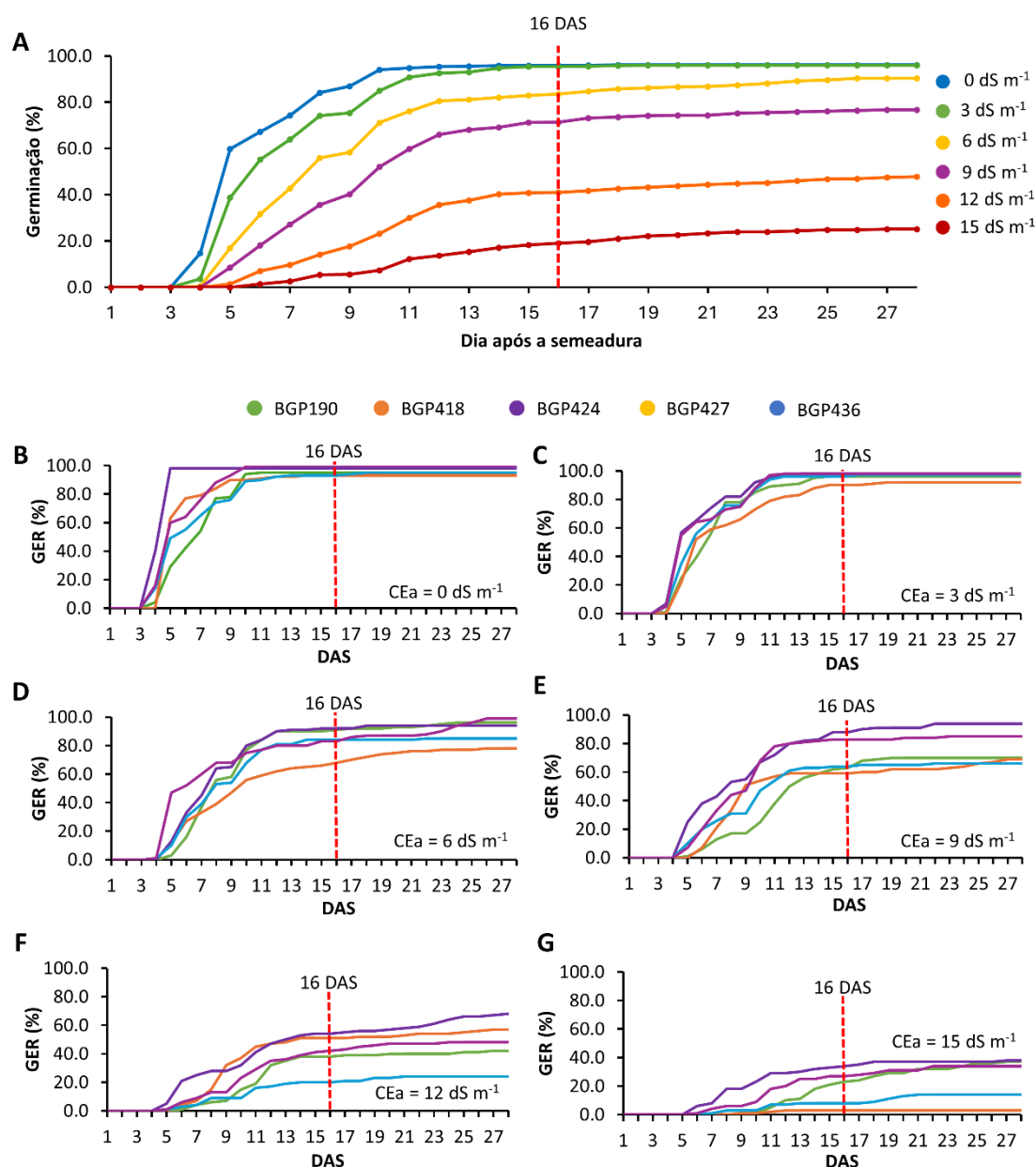


Figura 2. Porcentagem de germinação (GER) de cinco acessos (BGP190, BGP418, BGP424, BGP427 e BGP436) de *Passiflora edulis* Sims submetidos a seis níveis de condutividade elétrica da água (CEa) avaliados até os 28 dias após a semeadura – DAS. A) Percentagem média de germinação independente dos acessos; B) CEa= 0 dS m⁻¹; C) CEa= 3 dS m⁻¹; D) CEa= 6 dS m⁻¹; E) CEa= 9 dS m⁻¹; F) CEa= 12 dS m⁻¹; G) CEa= 15 dS m⁻¹. A linha vermelha tracejada (---) nos gráficos indica a estabilização da germinação aos 16 DAS.

Aos 28 DAS houve aumento no efeito deletério do NaCl com incremento da condutividade elétrica da água. A GER foi reduzida de 96% (controle – 0 dS m⁻¹) para 25% a 15 dS m⁻¹ (Figura 3A). Essa mesma tendência foi observada na taxa média de germinação – TXG, sincronia – SIN e índice de velocidade de germinação - IVG (Figura 3C, E, F). Por outro lado, o tempo médio de germinação – TMG dobrou na comparação entre o tratamento controle e as maiores concentrações de NaCl (12 e 15 dS m⁻¹), indicando que na condição salina a germinação ocorre de forma lenta (Figura 3B). A incerteza na germinação – INC foi maior nas doses de 3 a 12 dS m⁻¹ (Figura 3D). Não foram registradas diferenças entre as massas das matérias fresca e seca entre as CEa avaliadas (Figura 3G, H).

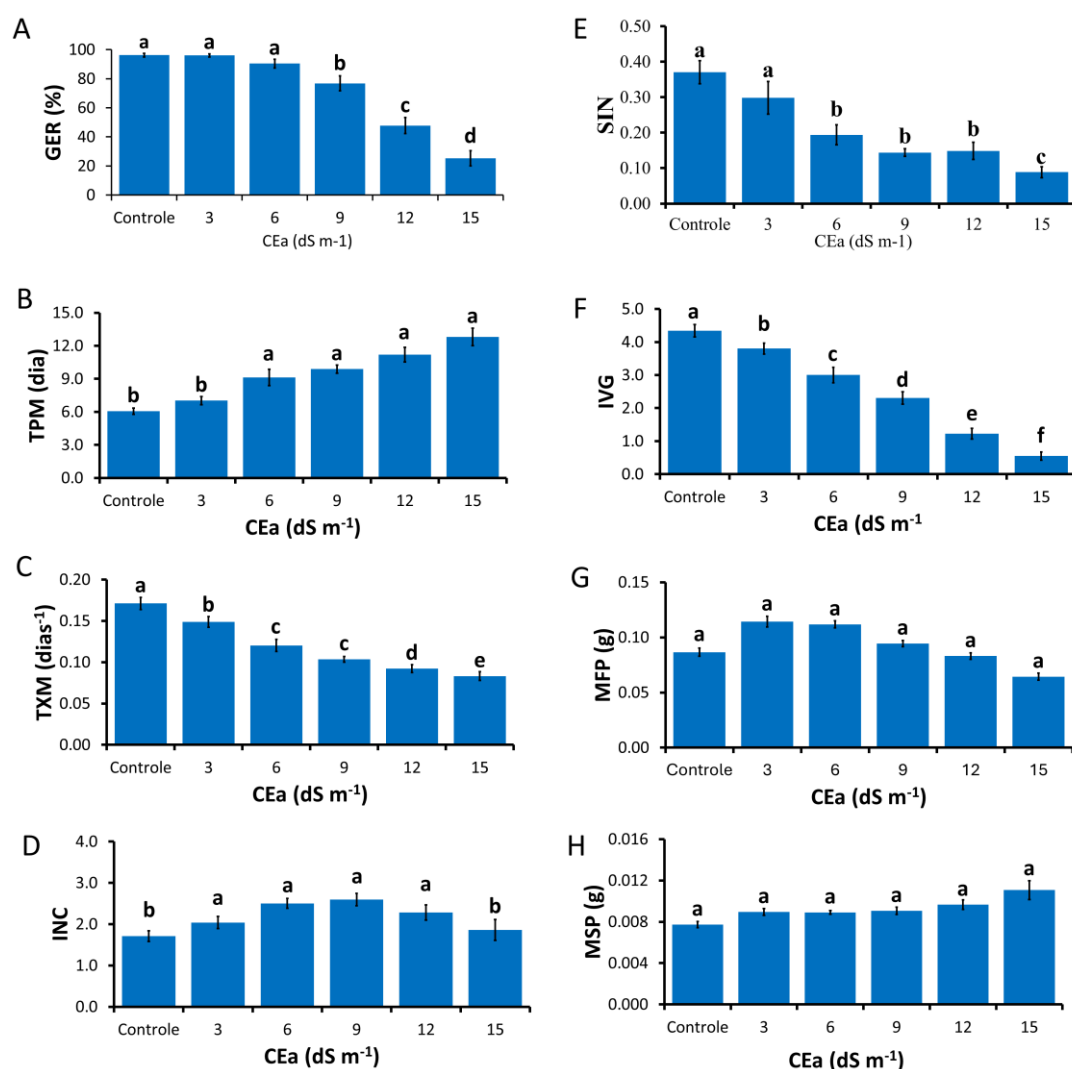


Figura 3. Efeito do estresse salino induzido por seis condutividades elétricas da água (CEa = 0, 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹) em variáveis da germinação de sementes de *Passiflora edulis* Sims aos 28 dias após a semeadura – 28 DAS (A-H). A) Porcentagem de

germinação (GER); B) Tempo médio de germinação (TPM); C) Taxa média de germinação (TXM); D) Incerteza de germinação (INC); E) Sincronia de germinação (SIN); F) Índice de velocidade de germinação; G) Massa fresca da plântula (MFP) e H) Massa seca da plântula (MSP). Médias com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Barras verticais indicam o desvio padrão calculado.

Conforme avaliação dos danos causados pelo NaCl em sementes e plântulas de *P. edulis* por meio de uma escala de notas que varia de 1 para sementes não germinadas a 6 para plântulas com folhas cotiledonares completamente livres (Figura 1), observamos que, em geral, a porcentagem de sementes não germinadas, aumentou com o nível de estresse aplicado, variando de 74% para o BGP436 (Figura 4E) a 88% para os BGP190 e BGP418 em 15 dS m⁻¹ (Figura 6A, B). Os genótipos BGP190 e BGP418 foram classificados como mais sensíveis ao estresse salino, pois 88% das sementes não germinaram a partir da CEa de 12,0 dS m⁻¹, enquanto para os demais genótipos esse resultado foi igual ou inferior a 65%.

Para a identificação de fontes de tolerância ao NaCl é desejável que o estresse salino permita um nível de dano, sem, contudo, comprometer seriamente os caracteres relacionados a qualidade fisiológica das sementes. A exposição a 9 dS m⁻¹ de NaCl favoreceu uma redução de 98% a 100% para a porcentagem de plântulas com as folhas cotiledonares totalmente livres e expandidas entre os acessos (Figura 4A-J). Nesse sentido, foi possível selecionar o nível de 9 dS m⁻¹, pois decréscimos mais expressivos foram notados para as características morfofisiológicas a partir desta concentração (Figuras 3; 4).

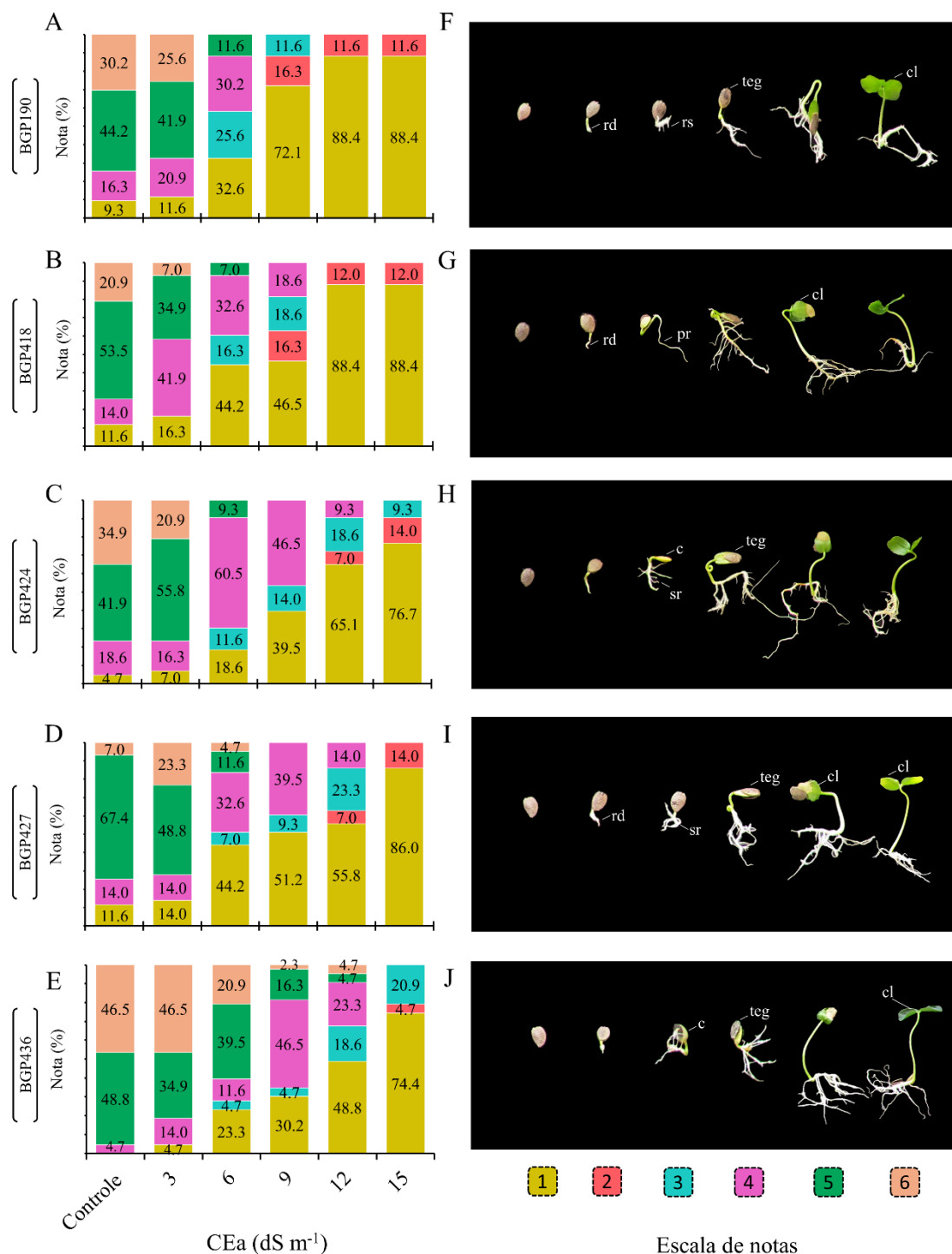


Figura 4. Classificação das sementes e plântulas de *P. edulis* submetidas a seis diferentes níveis de condutividade elétrica da água (CEa) aos 20 dias após a semeadura – DAS por meio de uma escala de notas que variou de 1 (sementes não germinadas) a 6 (plântulas com folhas cotiledonares completamente livres e expandidas). A-E) porcentagem de notas obtidas para sementes e plântulas em função dos tratamentos salinos; F-J) representação fenotípica das sementes e plântulas dos acessos de *P. edulis* avaliados com base na escala de notas: 1 = sementes não germinadas; 2 = sementes com protusão inicial da radícula

(rd); 3 = sementes com crescimento inicial da raiz primária (rp) e/ou secundária (rs) com tamanho proporcional ao da semente (1:1); 4 = sementes com ou sem a presença de tegumento (teg) aderido aos cotilédones (c) e com crescimento da raiz duas vezes maior em relação à semente (2:1); 5 = plântulas com as folhas cotiledonares (fc) em início de separação, presas pelo teg; 6 = plântulas com as fc totalmente livres e expandidas.

Na dose selecionada de 9 dS m^{-1} , a qualidade fisiológica das sementes não diferiu entre os acessos (Figura 5A; D-H), com ressalva para BGP424, BGP427 e BGP436 que alcançaram melhores valores para o tempo e a taxa média de germinação ao final da avaliação – 28 DAS (Figura 5B; C). Corroborando com os resultados obtidos quando utilizado a escala de notas para selecionar genótipos tolerantes e os acessos BGP190 e BGP418 se mostraram mais sensíveis ao NaCl (Figuras 4; 5).

A análise de *heatmap* (Figura 5I) confirma os resultados das análises univariadas (Figuras 3; 4). Observou-se a formação de quatro grupos – G1 a G4 (Figura 5I). O G1 agrupou a maioria dos acessos submetidos às CEa de 12 e 15 dS m^{-1} , além dos acessos BGP190 e BGP418 sob 9 dS m^{-1} , reforçando que esses acessos são mais sensíveis ao estresse salino na fase de germinação. O G2 foi formado somente pelo BGP418 na CEa de 15 dS m^{-1} , correspondendo ao maior impacto na qualidade fisiológica das sementes. O G3 foi formado por acessos avaliados sob CEa moderadas (6 e 9 dS m^{-1}) e o G4 aqueles que receberam a menor dose de sal CEa = 3 dS m^{-1} e o controle com CEa = 0 dS m^{-1} (Figura 5I).

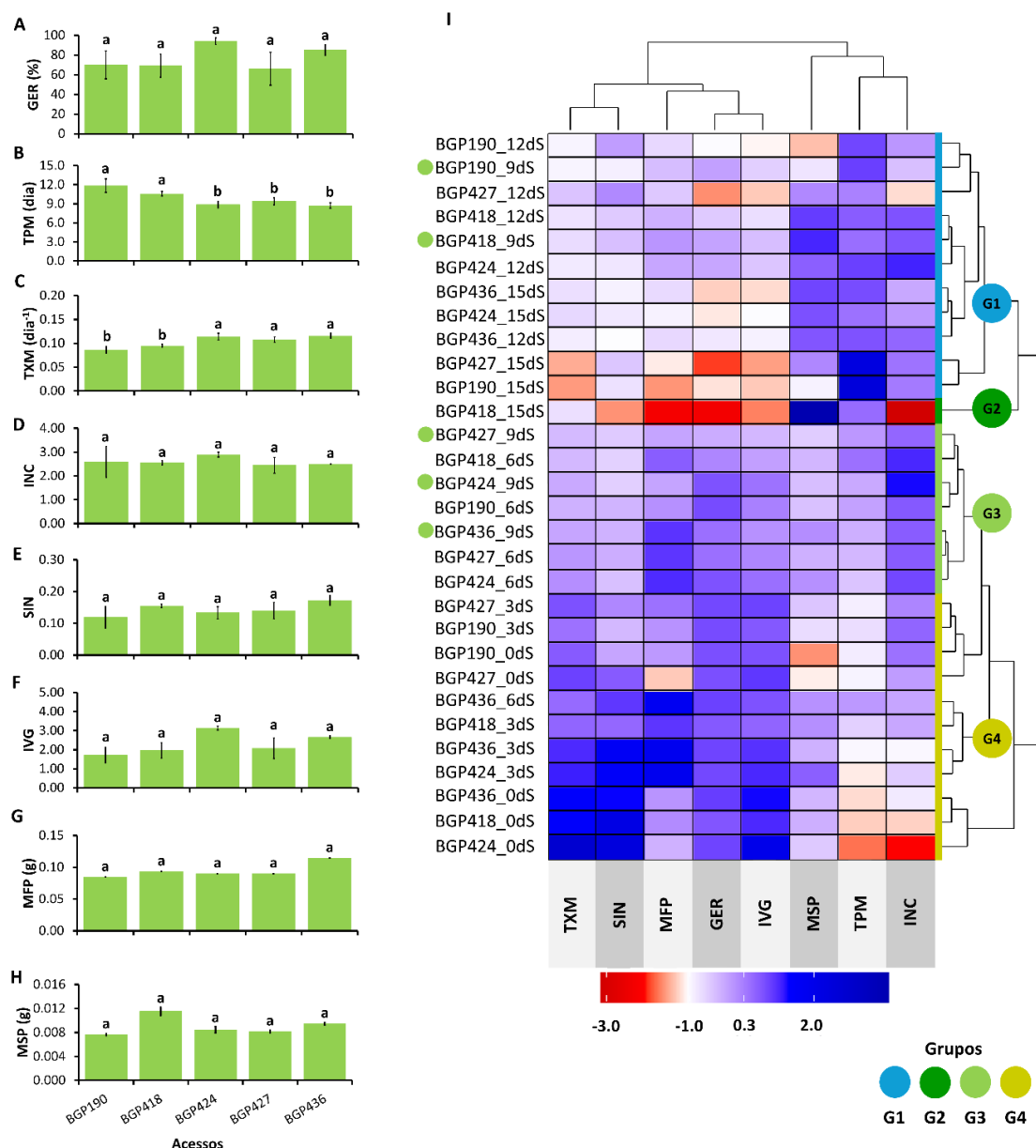


Figura 5. A-H) Comportamento dos cinco acessos de *P. edulis* Sims (BGP190, BGP418, BGP424, BGP427 e BGP436) avaliados na dose crítica selecionada – CEa= 9 dS m⁻¹. A) Porcentagem de germinação (GER); B) Tempo médio de germinação (TPM); C) Taxa média de germinação (TXM); D) Incerteza de germinação (INC); E) Sincronia de germinação (SIN); F) Índice de velocidade de germinação; G) Massa de matéria fresca da plântula (MFP); H) Massa de matéria seca da plântula (MSP) e I) Análise de agrupamento com *heatmap* para identificar o efeito do estresse salino induzido por seis condutividades elétricas da água (CEa= 0, 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹) em variáveis da germinação de sementes de *P. edulis* aos 28 dias após a semeadura – 28 DAS. Médias com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Barras

verticais indicam o desvio padrão calculado. Os círculos no *heatmap* indicam os genótipos avaliados na dose crítica (9 dS m⁻¹).

3.2 Avaliação do retorno à germinação após o estresse

No presente estudo, observamos que o padrão de germinação das sementes de *P. edulis* não se alterou até uma CEa de 6 dS m⁻¹ (Figuras 3A; 6A). A partir de 9 dS m⁻¹, houve uma redução na germinação e, conseqüentemente, um aumento no percentual de sementes não germinadas, com 23,2, 52,2 e 74,8% para os níveis de CEa de 9, 12 e 15 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 6A). Para avaliar a viabilidade dessas sementes não germinadas após 28 dias de estresse induzido, foi realizado um teste de germinação na ausência de NaCl. Nesse teste, foi possível recuperar a germinação das sementes em 18,9% (9 dS m⁻¹); 44,3% (12 dS m⁻¹) e 67,2% (15 dS m⁻¹) (Figura 6A). Também foi observada uma maior porcentagem de sementes não germinadas após o estresse nesses três níveis de CEa (9, 12 e 15 dS m⁻¹), com valores respectivos de 4,3, 7,9 e 7,6% (Figura 6A). Esse resultado pode ser atribuído à maior influência do estresse osmótico e, em menor grau, ao efeito tóxico do NaCl sobre a germinação. Entre os genótipos testados, três deles (BGP190, BGP418 e BGP427) apresentaram os maiores percentuais de sementes não germinadas após o estresse, a partir da dose crítica (9 dS m⁻¹) previamente testada (Figura 6D-F).

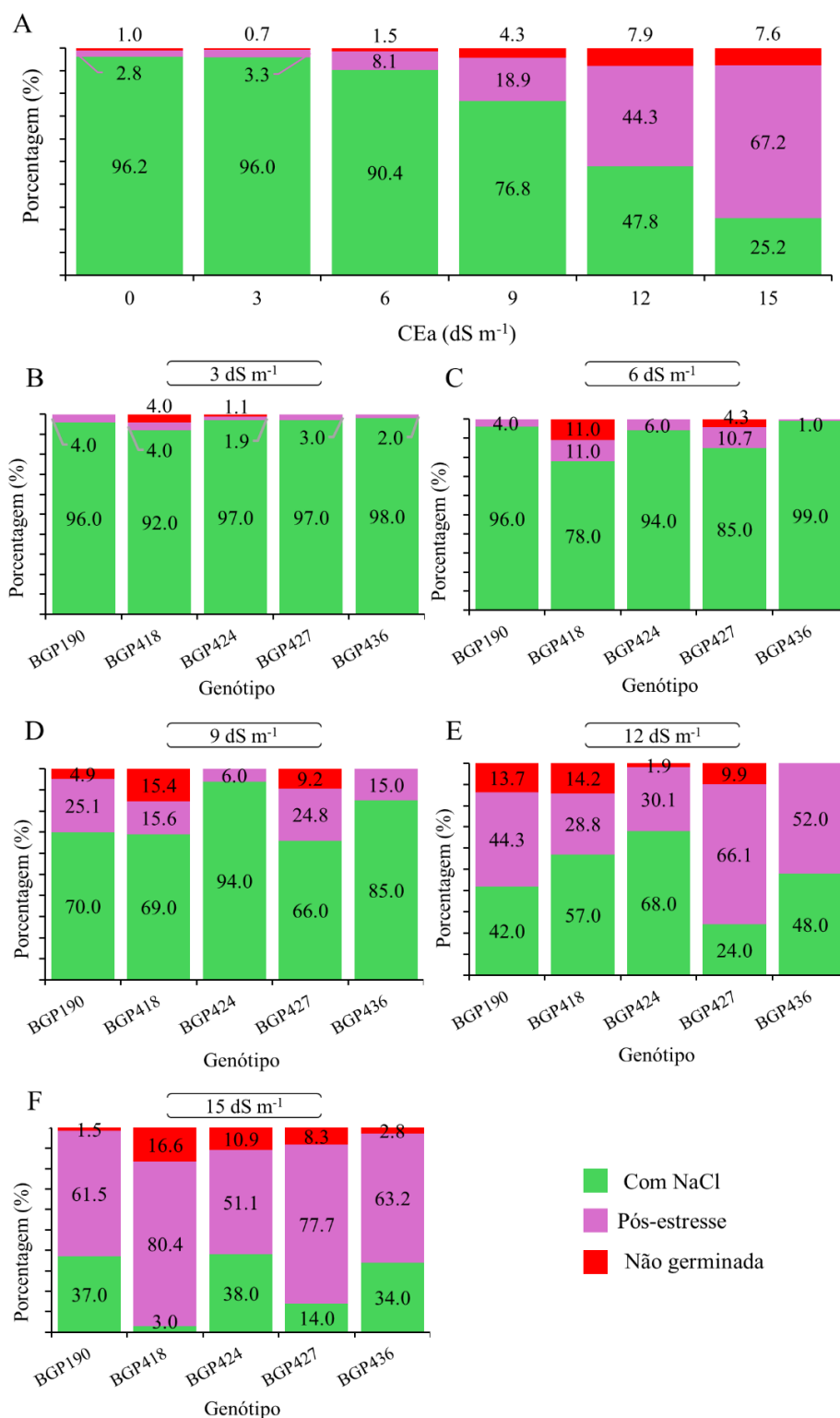


Figura 6. A) Efeito do estresse salino induzido por seis condutividades elétricas da água (CEa = 0, 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹) na porcentagem de sementes germinadas sob estresse (com NaCl), após a remoção das condições salinas e exposição à água destilada - CEa = 0 dS m⁻¹ (pós-estresse - sem NaCl) e sementes não germinadas (pós-estresse - sem NaCl) aos 28 dias após a semeadura – 28 DAS. B–F) Comportamento dos cinco genótipos de *P.*

edulis quanto à porcentagem de sementes germinadas sob estresse, recuperação da germinação e sementes não germinadas na ausência de NaCl (pós-estresse) nas cinco doses previamente aplicadas.

3.3 Quantificação de peróxido de hidrogênio H₂O₂ em plântulas de *Passiflora* spp.

Para quantificar o teor de H₂O₂ em plântulas de quatro espécies de *Passiflora*, foram utilizadas a solução com NaCl a 9 dS m⁻¹ e seu respectivo controle. A quantificação foi baseada em curvas de calibração realizadas aos 7, 14 e 21 dias após o transplântio (DAT), cujos coeficientes de determinação (R²) variaram de 0,96 a 0,97 (Figura 7A-C). *P. edulis* apresentou os maiores valores independentemente do tempo de exposição, com efeito mais pronunciado aos 14 DAT (33,6 nmol L⁻¹ de H₂O₂), enquanto o controle (sem a presença de sal) acumulou 27 nmol L⁻¹ de H₂O₂ (Figura 7D). *P. alata* apresentou, em geral, o segundo maior acúmulo de H₂O₂, com diferenças apenas aos 7 e 21 DAT (Figura 7E). As espécies *P. gibertii* e *P. mucronata* produziram menores quantidades de H₂O₂ e não apresentaram diferenças entre plântulas submetidas ou não ao estresse salino até os 14 DAT (Figura 7F, G). No entanto, todas as espécies apresentaram variações ao comparar os tratamentos com sal e controle aos 21 DAT (Figura 7D-G).

Com relação ao aspecto fenotípico das plântulas, observou-se retardo no crescimento e menor expansão foliar em *P. edulis* e *P. alata* a partir dos 14 DAT (Figura 7H, I), enquanto *P. gibertii* e *P. mucronata* mantiveram o mesmo padrão (Figura 7J, K), demonstrando que essas espécies possuem mecanismos eficientes para manter o H₂O₂ em níveis basais.

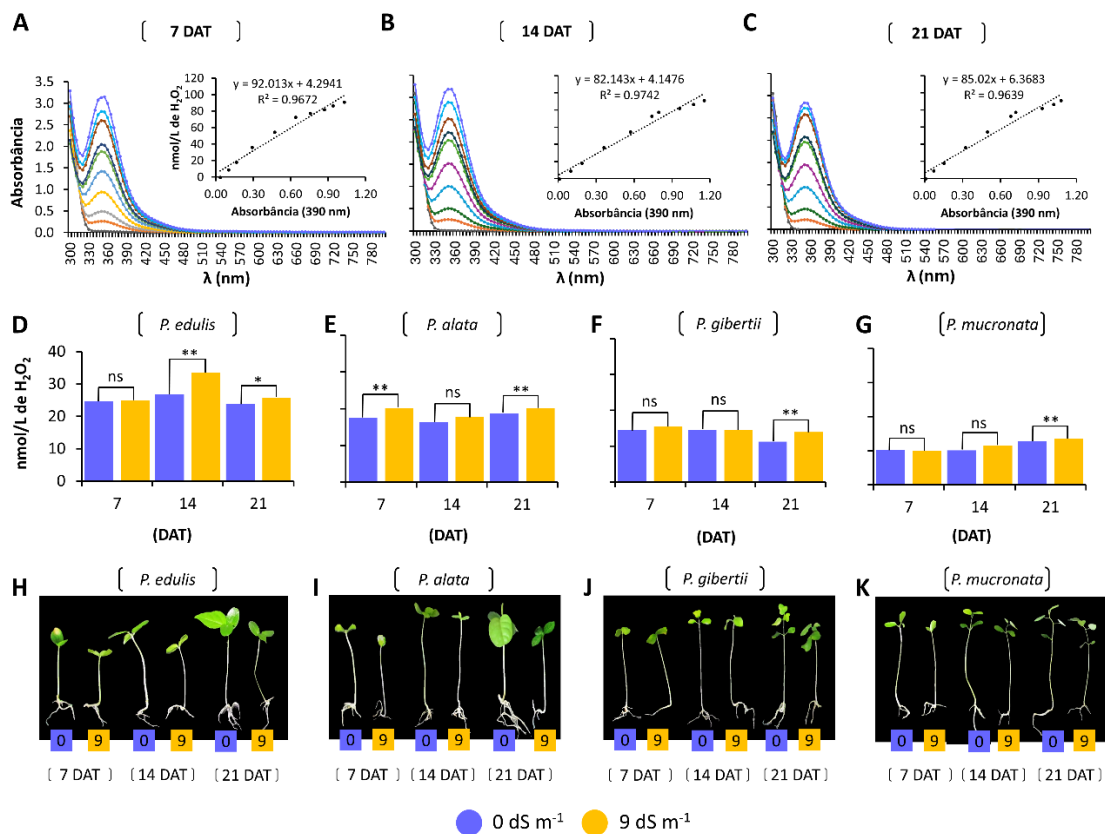


Figura 7. A-C) Curvas de calibração e equações de predição das absorbâncias obtidas a 390 nm realizadas aos 7, 14 e 21 dias após o transplante – DAT. D-K) Quantificação temporal do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e representação fenotípica das quatro *Passiflora* spp. avaliadas. D-H) *P. edulis*, E-I) *P. alata*, F-J) *P. gibertii* e G-K) *P. mucronata* nos tratamentos controle (CEa = 0 dS m⁻¹) e salinizados (CEa = 9 dS m⁻¹) nos três tempos de avaliação. Considerou-se ** altamente significativo, * significativo e ^{ns} não significativo a $p \leq 0.01$ e $p \leq 0.05$, respectivamente pelo teste t as diferenças entre os tratamentos controle (sem NaCl – 0 dS m⁻¹) e sob estresse salino (com NaCl – 9 dS m⁻¹) em cada tempo (7, 14 e 21 DAT) analisado.

4 DISCUSSÃO

A germinação de sementes é um processo complexo e crucial para o estabelecimento bem-sucedido das plantas propagadas sexuadamente (Sajeev *et al.*, 2024), entretanto pouco tem sido relatado sobre a tolerância ao estresse salino em sementes de *Passiflora* spp. Quando as sementes são expostas a soluções salinas, a fase de embebição é diretamente afetada devido à dificuldade de absorção de água. Isso, por sua vez, compromete a fase de estabilização, onde a mobilização de reservas e a

preparação para o crescimento ativo ocorrem. Essas dificuldades acumuladas podem atrasar ou impedir a protrusão da radícula, afetando o sucesso geral da germinação e do estabelecimento da plântula (Taiz *et al.*, 2021; Tlahig *et al.*, 2021).

Para as passifloras a literatura disponível está focada nos estádios iniciais (plântulas) ou finais (vegetativo e reprodutivo da planta) da espécie comercial – *P. edulis* (Ferreira *et al.*, 2022; Torres *et al.*, 2023; Souto *et al.*, 2023) e/ou de pouquíssimas espécies silvestres (Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021). Compreender a resposta de genótipos com o estresse salino na fase de germinação é importante, pois permite adotar estratégias para mitigar os efeitos deletérios da salinidade na qualidade fisiológica de sementes, além de ajudar na rápida identificação de genótipos com tolerância a salinidade.

O impacto do estresse salino e as respostas das plantas são influenciados pela concentração e o tempo de exposição ao sal (Tlahig *et al.*, 2021; Jameel *et al.*, 2024). A estabilização da GER aos 16 dias após a semeadura (DAS) e a semelhança dos resultados observados ao final do experimento – aos 28 DAS, indicam redução do tempo de avaliação em 12 dias para *P. edulis* (Figura 2). No entanto, essa resposta pode variar a depender da espécie, pois sementes de maracujá roxo (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) submetidas a CEA abaixo de 6 dS m⁻¹ iniciaram a germinação aos 16 DAS, já nos níveis de 9 e 12 dS m⁻¹ o início deu-se aos 20 e 24 DAS, respectivamente (Montaña *et al.*, 2014). Na espécie silvestre *Passiflora mucronata* Lam., a germinação ocorreu entre 15 e 20 DAS sob estresse salino (Lopes *et al.*, 2023).

Neste estudo, foi observado que os acessos de *P. edulis* suportaram o estresse induzido sem grandes impactos nos parâmetros avaliados até 6 dS m⁻¹. Contudo, a sensibilidade variou significativamente a partir de 9 dS m⁻¹ (Figuras 3, 4, 5) com redução significativa na porcentagem de germinação (GER), taxa média de germinação (TXM), sincronia (SIN) e índice de velocidade de germinação (IVG) e aumento no tempo médio de germinação (TPM) e a incerteza (INC) (Figuras 3; 5). Altos índices de INC indicam germinação pouco previsível e desuniforme ao longo do tempo e podem ser influenciados por uma série de fatores relativos às sementes e as condições de germinação, enquanto a SIN mede o nível de homogeneidade da germinação (Bhatt *et al.*, 2022). Sob alta CEA (15 dS m⁻¹), a redução máxima da GER em relação ao controle foi de 74%, já o TPM foi prolongado em seis dias (Figura 3A, B), indicando impacto na velocidade de absorção de água e consequente redução da qualidade fisiológica.

A classificação das plântulas oriundas de sementes submetidas ao estresse salino é geralmente realizada por meio de características biométricas de crescimento (Wang *et*

al., 2022; Li *et al.*, 2023). Para otimizar tais avaliações, aos 20 DAS foi aplicado uma escala de notas que varia de 1 a 6 e considera características fenotípicas de sementes e plântulas (Figura 1). Os resultados mostraram a eficiência desse método em indicar não apenas a dose crítica de NaCl capaz de causar danos, como também evidencia as variações entre acessos de *P. edulis* (Figura 4). De modo geral, a partir de 9 dS m⁻¹, as sementes não ultrapassaram o grau 4 da escala, ou seja, sementes germinadas com ou sem aderência do tegumento aos cotilédones; evidenciando uma redução no crescimento como resultado dos efeitos deletérios do NaCl. Essa redução corrobora estudos convencionais que avaliam o comprimento do hipocótilo e da raiz em plântulas de diferentes culturas oriundas de sementes submetidas ao estresse salino (Li *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022; Dadach *et al.*, 2023; Hmissi *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2024).

A análise do comportamento dos acessos de *P. edulis* na dose crítica de NaCl selecionada (9 dS m⁻¹) revelou diferenças entre os genótipos (Figura 5). Para a maioria das características não houve diferenças marcantes (Figura 5A, D-H), embora os acessos BGP424, BGP427 e BGP436 tenham se destacado por apresentar menor TPM e maior TXM (Figura 5B, C), indicando melhor performance em condições de estresse salino. Além disso, foram os acessos que apresentaram maior vigor das plântulas com maior porcentagem de sementes germinadas com formação da raiz, hipocótilo e folhas cotiledonares (notas 5 e 6) em condições salinas moderadas (Figura 4C-E; H-J). A análise de agrupamento (cluster) associada ao mapa de calor (Figura 5I) também confirmou essa variação entre os acessos de *P. edulis* para a tolerância ao sal na fase de sementes.

A identificação de genótipos tolerantes à salinidade por meio de estudos de germinação de sementes é de grande importância (Li *et al.*, 2023). Em *P. edulis*, notamos uma tendência exponencial após o início da germinação das primeiras sementes a partir 4 DAS, levando a uma rápida estabilização no 16º dia (Figura 2A). Embora a tendência ascendente tenha sido mantida com o aumento das doses salinas, houve uma redução no número de sementes germinadas (Figura 2A). É interessante destacar que esse ponto de estabilização obtido aos 16 DAS pode ser utilizado na análise de outros genótipos de *P. edulis*. Por outro lado, em outras espécies de *Passiflora* espera-se um comportamento de germinação variável, mesmo sob condições ideais, devido à presença de dormência em algumas espécies (Faleiro *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2022). Portanto, para que esse método seja aplicado às diferentes espécies do gênero, é fundamental que os critérios de identificação da tolerância, nessa fase inicial do desenvolvimento, sejam ajustados de acordo com as particularidades fisiológicas de cada espécie. Desta forma, é prudente

estabelecer a germinação das primeiras sementes no tratamento controle como ponto de partida para a avaliação do tratamento salino (com 9 dS m⁻¹ de NaCl). A partir desse ponto, o tratamento com sal deve ser avaliado por, no mínimo, 16 dias após o início da germinação ou até que ocorra a estabilização.

Sabe-se que uma quantidade mínima de água é necessária para hidratação dos tecidos, reativação do metabolismo e subsequente crescimento do eixo embrionário (Dadach *et al.*, 2023). Para sementes em condições de estresse salino, o principal distúrbio fisiológico apontado é a diminuição da embebição (Sajeev *et al.*, 2024) que consequentemente provoca estresses osmóticos e iônicos (Soliman *et al.*, 2020; Bouzidi *et al.*, 2021). Nosso estudo mostra que mesmo com baixa germinação (25.2%) em 15 dS m⁻¹ (Figura 6A), as sementes ainda estavam viáveis, uma vez que, após serem colocadas em condição sem sal, foi observada uma recuperação de 67,2% da germinação (Figura 6A). Concentrações elevadas de sal inibem a germinação e reduzem seu percentual devido aos efeitos tóxicos dos íons Na⁺ e Cl⁻ (Haq *et al.*, 2023; Jameel *et al.*, 2024). No entanto, nossos resultados indicam que a principal causa da inibição da germinação em *P. edulis* pode estar associada à restrição osmótica e não à toxicidade iônica (Bhatt *et al.*, 2022; Hmissi *et al.*, 2023).

De modo geral, observou-se um leve aumento no percentual de sementes não germinadas em condições pós-estresse nos níveis de CEa de 9, 12 e 15 dS m⁻¹ (Figura 6A; D-F). Esse resultado indica que, a longo prazo, os efeitos tóxicos dos íons Na⁺ e Cl⁻ podem se sobrepor aos de natureza osmótica na germinação de alguns genótipos de *P. edulis*. Esse aspecto merece ser investigado com um tempo de exposição mais prolongado (> 28 dias) das sementes à salinidade.

Um estudo recente realizado por Pham *et al.* (2023) demonstrou efeitos combinados (estresse osmótico e toxicidade iônica) em sementes de *Common purslane*, inibindo a capacidade de germinação e prolongando o tempo necessário para que ela ocorresse. Segundo os autores, os efeitos da toxicidade iônica foram maiores do que os do estresse osmótico, reduzindo severamente a germinação das sementes devido ao estresse oxidativo e à geração de espécies reativas de oxigênio (EROs). Tlahig *et al.* (2021), ao avaliarem o comportamento germinativo de quatro espécies de leguminosas (*Lathyrus sativus* L., *Vicia sativa* L., *Vigna radiata* L. R. Wilczek e *Vigna unguiculata* L. Walp) sob condições de estresse salino, observaram que a germinação não foi afetada pelo sal. Além disso, constataram uma redução significativa no crescimento do eixo

embrionário, o que sugere a ocorrência de estresse oxidativo devido às altas concentrações de NaCl.

Neste estudo, possivelmente as sementes submetidas ao estresse salino passaram por um tipo de *priming* (pré-condicionamento), no qual são induzidas a um estado pré-germinativo por meio da reidratação controlada, visando aumentar as taxas de germinação e o vigor das sementes. Essa técnica é utilizada para regular a germinação, permitindo que as sementes superem estresses ambientais (Bouzidi *et al.*, 2021; Chaudhary *et al.*, 2024), além de induzir tolerância a estresses abióticos, como seca, frio e salinidade (Soliman *et al.*, 2020; Guo *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2024). Em nosso estudo, a germinação rápida e síncrona das sementes de *P. edulis* removidas das condições salinas após 28 dias de estresse demonstrou que elas já estavam preparadas para o início da protrusão da radícula. Esse comportamento indica que as sementes dessa espécie podem permanecer viáveis e retardar a germinação mesmo sob condições de hipersalinidade. Essas informações também abrem a possibilidade de realizar estudos de *priming* com NaCl em outras espécies de *Passiflora*.

A vulnerabilidade ao NaCl provavelmente se deve a incapacidade da semente de manter concentrações citosólicas mais baixas de Na^+ e Cl^- (Dadach *et al.*, 2023), o que leva a alterações a nível celular, como redução na divisão e expansão (Roşca *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2024). Além dos danos à germinação das sementes, quando as plantas são submetidas a estresses severos como a salinidade, apresentam uma série de respostas que indicam desequilíbrio em seu metabolismo (Soliman *et al.*, 2020; Mukherjee *et al.*, 2024). Entre essas respostas, destaca-se a indução e formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) que atuam como moléculas sinalizadoras, no entanto o acúmulo excessivo resulta em dano oxidativo de lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (Pérez-López *et al.*, 2009; Gill e Tuteja, 2010; Bhatt *et al.*, 2022). O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é uma ERO que atua tanto como uma molécula sinalizadora quanto estressora, a depender do equilíbrio entre sua geração e eliminação (Hasanuzzaman *et al.*, 2020; 2021). Assim, a quantificação do peróxido em espécies contratantes de *Passiflora* spp., é uma importante informação para melhor compreender os danos associados a salinidade.

Com base na quantificação temporal de H_2O_2 , a maior sensibilidade ao estresse salino foi observada para *P. edulis* e *P. alata* (Figura 7D, E) e maior tolerância para *P. mucronata* e *P. gibertii* (Figura 7F, G) aos 21 DAT. Estas últimas espécies, além de menor acúmulo de H_2O_2 , apresentaram formação de plântulas (raiz, hipocótilo e epicótilo) em condições de estresse (9 dS m^{-1}) muito próximas às do controle (0 dS m^{-1}) (Figura 7J, K).

De fato, a geração de EROs varia muito com as espécies de plantas, genótipos, nível de tolerância e duração da exposição ao estresse (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). Russel *et al.* (2021) demonstraram que o estresse salino (7 dS m⁻¹) induzido por 24 dias aumentou a produção de H₂O₂ em genótipos de arroz sensíveis, por outro lado, aqueles classificados como tolerantes apresentaram menor acúmulo de H₂O₂ e maior incremento do conteúdo de prolina e atividades de catalase. O estudo desenvolvido por Jameel *et al.* (2024) para tolerância à salinidade com quatro variedades de tomate mostrou que na variedade sensível houve aumento de H₂O₂ e a peroxidação da membrana quando comparada às demais e o controle.

Em nosso estudo, as diferenças no acúmulo de H₂O₂ indicam que as espécies silvestres *P. mucronata* e *P. gibertii* apresentam sistemas de defesa mais eficientes em relação às espécies comerciais do gênero *P. edulis* e *P. alata*. As plantas respondem aos estresses abióticos de forma complexa e única e diferentes alterações nas características fisiológicas e morfológicas foram apontadas para estas espécies silvestres como mecanismos de tolerância ao sal por Lima *et al.* (2020) e Moura *et al.* (2021). Embora nosso estudo não tenha investigado as ações de enzimas que atuam no sistema de defesa antioxidante, tais como ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (POD) (Tlahig *et al.*, 2021; Begum *et al.*, 2022; Jameel *et al.*, 2024), é aceitável que as diferenças entre as espécies sugerem algum mecanismo regulador de EROs.

Este estudo foi idealizado com o objetivo de determinar pontos importantes para uso na identificação de genótipos com tolerância ao estresse salino nos recursos genéticos conservados nos bancos de germoplasmas. A abordagem principal foi por meio da análise de germinação de sementes sob estresse salino, pois é um método prático, rápido e bastante utilizado em várias culturas (Andrade *et al.*, 2018; Li *et al.* 2020; Sivakumar *et al.*, 2020; Bhatt *et al.*, 2022; Begum *et al.*, 2022). Além disso, o estudo focou a maioria dos esforços na espécie *P. edulis* que é a mais plantada no Brasil e cuja resposta ao sal será o balizador para seleção de genótipos nos germoplasmas e híbridos dos programas de melhoramento genético do maracujazeiro.

Nossos resultados permitiram identificar pontos importantes para a triagem de genótipos de maracujá. Entre eles, destaca-se o momento inicial da avaliação, que deve ocorrer após a germinação das primeiras sementes no grupo controle e se estender por, no mínimo, 16 dias após o início da germinação ou até que ocorra a estabilização, de modo que os genótipos avaliados possam expressar suas diferenças e ser identificados como

tolerantes ou não ao estresse salino. Observamos também que a dose que causa danos limiares em *P. edulis* é 9 dS m⁻¹, sendo essa indicada para estudos de caracterização com foco na identificação de fontes de tolerância à salinidade. Os níveis de NaCl testados inibiram a germinação das sementes de *P. edulis*, mas não causaram morte embrionária. Além disso, encontramos diferenças no acúmulo de peróxido de hidrogênio entre as espécies avaliadas, sendo as espécies sensíveis ao sal (*P. edulis* e *P. alata*) as que apresentaram maior produção de H₂O₂ em relação às espécies tolerantes (*P. mucronata* e *P. gibertii*). Em conjunto, nossos achados abrem possibilidades para estudos em nível enzimático (APX, CAT, SOD e POD), visando compreender melhor a interação entre *Passiflora* spp. e o estresse salino.

5 CONCLUSÃO

Determinar a tolerância à salinidade entre os recursos genéticos disponíveis é necessário para o desenvolvimento de variedades de maracujá com melhor desempenho em condições salinas. Este é o primeiro estudo a fornecer dados sobre a quantificação de peróxido em plântulas cultivadas sob estresse salino. Para a seleção de genótipos de *P. edulis* tolerantes ao estresse salino, recomendamos o uso de uma concentração de NaCl de 9 dS m⁻¹, com avaliação realizada por, no mínimo, 16 dias após o início da germinação ou até que a germinação se estabilize. O método da escala de notas foi eficaz para indicar os danos causados pelo estresse salino à qualidade das sementes e plântulas de *P. edulis*. Os níveis mais elevados de NaCl (12 e 15 dS m⁻¹) inibiram a germinação das sementes de *P. edulis*, mas não causaram morte embrionária. As variações no acúmulo de H₂O₂ entre as quatro espécies analisadas indicam variabilidade nas respostas fisiológicas e enzimáticas, sendo que as espécies sensíveis ao sal (*P. edulis* e *P. alata*) apresentaram maior produção de H₂O₂ em comparação com as espécies mais tolerantes (*P. mucronata* e *P. gibertii*).

REFERENCIAS

- Andrade, J.R., Sousa Medeiros, A., Maia Júnior, S.D.O., Paula Rezende, L., Araújo Neto, J.C., 2018. Germination and morphophysiology of passion fruit seedlings under salt water irrigation1. Pesquisa Agropecuária Tropical, 48, 229-236. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4852710>.
- Begum, N., Hasanuzzaman, M., Li, Y., Akhtar, K., Zhang, C., Zhao, T., 2022. Seed germination behavior, growth, physiology and antioxidant metabolism of four contrasting cultivars under combined drought and salinity in soybean. Antioxidants, 11, 498. <https://doi.org/10.3390/antiox11030498>.

- Bhatt, A., Batista-Silva, W., Gallacher, D.J., Pompelli, M.F., 2020. Germination of *Cenchrus ciliaris*, *Pennisetum divisum*, and *Panicum turgidum* is seasonally dependent. *Botany*, 98, 449-458. <https://doi.org/10.1139/cjb-2019-0194>.
- Bhatt, A., Gallacher, D.J., Jarma-Orozco, A., Fernandes, D., Pompelli, M.F., 2022. Seed provenance selection of wild halophyte seeds improves coastal rehabilitation efficiency. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 265, 107657. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107657>.
- Bouzidi, A., Krouma, A., Chaieb, M., 2021. Chemical seed priming alleviates salinity stress and improves *Sulla carnosa* germination in the saline depression of Tunisia. *Plant Direct*, 5, e357. <https://doi.org/10.1002/pld3.357>.
- Brasil., 2009. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de defesa agropecuária. Regras para análise de sementes. Available at: <https://11nk.dev/jTjO3>.
- Breria, C.M., Hsieh, C.H., Yen, T.B., Yen, J.Y., Noble, T.J., Schafleitner, R., 2020. A SNP-based genome-wide association study to mine genetic loci associated to salinity tolerance in Mungbean (*Vigna radiata* L.). *Genes*, 11, 759. <https://doi.org/10.3390/genes11070759>.
- Cerqueira-Silva, C.B.M., Faleiro, F.G., Jesus, O.N., Santos, E.S.L., Souza, A.P., 2018. Passion Fruit (*Passiflora* spp.) Breeding. In: Al-Khayri, J., Jain, S., Johnson, D. (eds) *Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91944-7_22.
- Chaudhary, M.T., Majeed, S., Rana, I.A. Ali, Z., Jia, Y., Du, X., Hinze, L., Azhar, M.T., 2024. Impact of salinity stress on cotton and opportunities for improvement through conventional and biotechnological approaches. *BMC Plant Biology*, 24, 20. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04558-4>
- Dadach, M., Gairola, S., Hameed, A., El-Keblawy, A., 2023. Effects of different chloride salts on seed germination and early seedling performance of *Ceratonia siliqua*: A multipurpose tree of the Mediterranean region. *South African Journal of Botany*, 158, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.04.044>.
- Dehnavi, A.J., Zahedi, M., Ludwiczak, A., Cardenas Perez, S., Piernik, A., 2020. Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Agronomy*, 10, 859. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060859>.
- Faleiro, F.G., Junqueira, N.T.V., Junghans, T.G., Jesus, O. N., Miranda, D., Otoni, W.C., 2019. Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41, e-155. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019155>.
- Fang, X., Mo, J., Zhou, H., Shen, X., Xie, Y., Xu, J., Yang, S., 2023. Comparative transcriptome analysis of gene responses of salt-tolerant and salt-sensitive rice cultivars to salt stress. *Scientific Reports*, 13, 19065. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46389-1>
- Ferreira, J.F.S., Liu, X., Suddarth, S.R.P., Nguyen, C., Sandhu, D., 2022. NaCl accumulation, shoot biomass, antioxidant capacity, and gene expression of *Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* Deg. in response to irrigation waters of moderate to high salinity. *Agriculture*, 12, 1856. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111856>.

- Gill, S.S., Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.
- Guo, J., Liu, S., Li, X., Liu, F., 2022. Crop exposure to cold stress: Responses in physiological, biochemical and molecular levels. In: Soualiou, S., Duan, F., Li, X., Zhou, W. *Sustainable Crop Productivity and Quality Under Climate Change*. Elsevier, Academic Press, 1-19. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85449-8.00011-7>.
- Haq, I.U., Azam, N., Ashraf, M., Javaid, M.M., Murtaza, G., Ahmed, Z., Arslan, M., 2023. Improving the genetic potential of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) germplasm to tolerate salinity stress. *Scientific Reports*, 13, 21504. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48370-4>.
- Hmissi, M., Chaieb, M., Krouma, A., 2023. Differences in the physiological indicators of seed germination and seedling establishment of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars subjected to salinity stress. *Agronomy*, 13, 1718. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071718>.
- Hasanuzzaman, M., Raihan, M.R.H., Masud, A.A.C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., Nahar, K., Fujita, M., 2021. Regulation of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Salinity. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 9326. <https://doi.org/10.3390/ijms22179326>.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.H.M.B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S.M., Mahmud, J.A., Fujita, M., Fotopoulos, V., 2020. Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator. *Antioxidantes*, 9, 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>.
- IBGE., 2023. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de recuperação automática -Sidra. Produção agrícola municipal: produção de maracujá no ano de 2022. Available at: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Accessed 20 Dez. 2023.
- Islam, A.T., Koedsuk, T., Ullah, H., Tisarum, R., Jenweerawat, S., Cha-Um, S., Datta, A., 2022. Salt tolerance of hybrid baby corn genotypes in relation to growth, yield, physiological, and biochemical characters. *South African Journal of Botany*, 147, 808-819. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.03.023>.
- Silva, J.J., Junghans, T.G., Ledo, C.A.S., Silva, F.L., Souza, E.H., Hongyu, K., Souza, F.V., 2022. Cryopreservation and germinative behavior of *Passiflora* spp. seeds. *3 Biotech*, 12, 276. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03329-6>.
- Jameel, J., Anwar, T., Siddiqi, E.H., Alomrani, S.O., 2024. Alleviation of NaCl stress in tomato varieties by promoting morpho-physiological attributes and biochemical characters. *Scientia Horticulturae*, 323, 112496. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112496>.
- Jesus, O.N., Oliveira, E.J., Faleiro, F.G., Soares, T.L., Girardi, E.A., 2017. Illustrated morpho-agronomic descriptors for *Passiflora* spp. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas. Available at: <https://bit.ly/3oR0SYp>. Accessed 20 Dez. 2023.
- Kaur, M., Gupta, N., Kaur, N., Sohu, R.S., Mahal, A.K., Choudhary, A., 2023. Preliminary screening of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) germplasm for salinity stress tolerance at the early seedling stage. *Cereal Research Communications*, 51, 603-613. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00327-5>

- Li, H., Feng, H., He, Y., Liu, J., Zhu, Y., 2023. Screening of leaf mustard (*Brassica Juncea* L.) cultivars for salinity tolerance. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54, 2657-2674. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2240368>.
- Li, W., Zhang, H., Zeng, Y., Xiang, L., Lei, Z., Huang, Q., Li, T., Shen, F., Chenget, Q., 2020. A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus* L.) at the seed germination stage. *Scientific Reports*, 10, 10626. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67210-3>.
- Lima, G.S., Pinheiro, F.W.A., Gheyi, H.R., Anjos Soares, L.A., Soares, M.D.M., Silva, F.A., de Lima, V.L.A., 2022b. Postharvest quality of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water and potassium application in two crop cycles. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233, 452. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05922-0>.
- Lima, G.S., Pinheiro, F.W.A., Gheyi, H.R., Soares, L.A.A., Sousa, P.F.N., Fernandes, P.D., 2022a. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26, 180-189. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p180-189>.
- Lima, G.S.D., de Souza, W.B., Paiva, F.J.D.S., Soares, L.A.D.A., Torres, R.A., Silva, S.T.D.A., Lopes, K.P., 2023. Tolerance of sour passion fruit cultivars to salt stress in a semi-arid region. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, p. 785-794, 2023. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n10p785-794>.
- Lima, L.K.S., Jesus, O.N., Soares, T.L., Santos, I.S., Oliveira, E.J., Coelho Filho, M.A., 2020. Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 263, 109037. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109037>.
- Lopes, J.C., Oliveira, P.A.D., Alexandre, R.S., Correia, A.O., Canal, G.B., Lima, P.A.M.D., 2023. Physiological quality of seeds from *Passiflora mucronata* Lam. genotypes with nitric oxide donor and salt stress. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 45, e-551. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023551>.
- Maguire, J.D., 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, Madison, 2, 176-77. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.
- Montaña, L.A., Fischer, G., Magnitskiy, S., Zuluaga, G., 2014. Effect of NaCl salinity on seed germination and seedling emergence of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana*, 32, 188-195. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n2.38287>.
- Moura, R.D.S., Soares, T.L., Lima, L.K.S., Gheyi, H.R., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A., 2020. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of *Passiflora edulis* Sims plants propagated by different methods. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66, 1692-1706. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1688789>.
- Moura, R.S., Soares, T.L., Lima, L.K.S., Gheyi, H.R., Dias, E.A., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A., 2021. Effects of salinity on growth, physiological and anatomical traits of *Passiflora* species propagated from seeds and cuttings. *Brazilian Journal of Botany*, 44, 17-32. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00675-8>.
- Mukherjee, S., Subba, R., Alzuaibr, F.M., Mathur, P., 2024. Auxin and hydrogen peroxide (H₂O₂) interaction differentially regulate seedling growth, Na⁺/K⁺ ratio and H₂S

homeostasis accompanying NaCl stress in etiolated sunflower (*Helianthus annuus* L. cv Microgreen) seedling roots and cotyledons. South African Journal of Botany, 166, 663-675. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.01.068>.

Nobre, R.G., Vasconcelos, E.D.S., Sales, G.D.S., Linhares, E.L.D.R., Souza, M.D.S., Moreira, A.R., Neitzke, T.R., 2023. Mitigation of salt stress in passion fruit seedlings with H₂O₂ application. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 28, e272617. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n1e272617>.

Pereira, K.T.O., Torres, S.B., Paiva, E.P., Sousa, G.D., Leite, M.S., Albuquerque, C.C., Sá, F.V.S., 2024. Priming cycles with salinity tolerance elicitors in seeds of *Mimosa caesalpinhiifolia* and *Pityrocarpa moniliformis*. Biologia, 79, 411-424. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01596-z>.

Pérez-López, U., Robredo, A., Lacuesta, M., Sgherri, C., Muñoz-Rueda, A., Navari-Izzo, F., 2009. The oxidative stress caused by salinity in two barley cultivars is mitigated by elevated CO₂. Physiologia Plantarum, 135, 29-42. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01174.x>.

Pinheiro, F.W.A., Lima, G.S.D., Gheyi, H.R., Soares, L.A.D.A., Nobre, R.G., Fernandes, P.D., 2022. Brackish water irrigation strategies and potassium fertilization in the cultivation of yellow passion fruit. Ciência e Agrotecnologia, 46, e022621. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202246022621>.

Qin, H., Li, Y., Huang, R., 2020. Advances and Challenges in the Breeding of Salt-Tolerant Rice. International journal of molecular sciences, 21, 8385. <https://doi.org/10.3390/ijms21218385>.

R Development Core Team., 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.r-project.org/>.

Russel, M., Tahjib-Ul-Arif, M., Hossain, M.A., Hassan, L., Farzana, S., Brestic, M., 2021. Screening of salt-tolerant rice landraces by seedling stage phenotyping and dissecting biochemical determinants of tolerance mechanism. Journal of Plant Growth Regulation, 40, 1853-1868. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10235-9>.

Roşca, M., Mihalache, G., Stoleru, V., 2023. Tomato responses to salinity stress: From morphological traits to genetic changes. Frontiers in plant science, 14, 1118383. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1118383>.

Sajeev, N., Koornneef, M., Bentsink, L., 2024. A commitment for life: Decades of unraveling the molecular mechanisms behind seed dormancy and germination. The Plant Cell, koad328, 1-19. <https://doi.org/10.1093/plcell/koad328>.

Sarabi, B.; Ghashghaie, J., 2022. Evaluating the physiological and biochemical responses of melon plants to NaCl salinity stress using supervised and unsupervised statistical analysis. Plant Stress, 4, 100067. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100067>.

Sivakumar, J., Prashanth, J.E.P., Rajesh, N., Reddy, S.M., Pinjari, O.B., 2020. Principal component analysis approach for comprehensive screening of salt stress-tolerant tomato germplasm at the seedling stage. Journal of biosciences, 45, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12038-020-00111-9>.

- Soliman, M., Elkelish, A., Souad, T., 2020. Priming brassinosteroid seeds with nitrogen supplementation improves salt tolerance in soybeans. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26, 501-511. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00765-7>.
- Souto, L.A.G., Cavalcante, L.F., Melo, E.N., Cavalcante, Í.H.L., Silva, R.Í.L., Lima, G.S., Oliveira Mesquita, F., 2023. Salinity and mulching effects on nutrition and production of grafted sour passion fruit. *Plants*, 12, 1035. <https://doi.org/10.3390/plants12051035>.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A., 2021. *Fundamentos de Fisiologia Vegetal*, six ed. Artmed, Porto Alegre.
- Tlahig, S., Bellani, L., Karmous, I., Barbieri, F., Loumerem, M., Muccifora, S., 2021. Response to salinity in legume species: An insight on the effects of salt stress during seed germination and seedling growth. *Chemistry & Biodiversity*, 18, e2000917. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000917>.
- Torres, R.A.F., Paiva, F.J.S., Lima, G.S., Soares, L.A.A., Almeida, A.K.C., Oliveira, V.K.N., Mendonça, A.J.T., 2023. Induction of tolerance with salicylic acid in sour passion fruit irrigated with water of different cationic compositions. *Comunicata Scientiae*, 14, 1-10. <https://doi.org/10.14295/CS.v14.3898>.
- Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A.J.P.S., 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant science*, 151, 59-66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1).
- Wang, C., Han, G., Qiao, Z., Li, Y., Yang, Z., Wang, B., 2022. Root Na⁺ content negatively correlated to salt tolerance determines the salt tolerance of *Brassica napus* L. inbred seedlings. *Plants*, 11, 906. <https://doi.org/10.3390/plants11070906>.

CAPÍTULO 2

DETERMINAÇÃO DO NÍVEL CRÍTICO DE ESTRESSE SALINO EM MUDAS DE MARACUJAZEIRO-AMARELO COM DUAS FASES FENOLÓGICAS ¹

¹ Artigo publicado no periódico *Journal of Plant Growth Regulation*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-025-11788-3>

RESUMO

A salinidade é um grave problema ambiental que afeta o maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims) e outras culturas. O conhecimento do estágio fenológico, nível e tempo de exposição das plantas ao estresse é essencial para identificar genótipos tolerantes. As respostas morfofisiológicas de cinco acessos de *P. edulis* ao estresse salino foram avaliadas com mudas em dois estádios de desenvolvimento (1-2 e 4-5 folhas) e seis condutividades elétricas (CEa: 2 dS m⁻¹ de solução nutritiva; 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹ de solução nutritiva + NaCl) para selecionar o estágio da planta, dose e características discriminatórias para identificar *Passiflora* spp. tolerantes. O experimento foi conduzido em ambiente semi-hidropônico, com delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 6 × 2. Os dados foram submetidos à análise descritiva e multivariada. Nenhuma diferença significativa foi observada em relação aos estágios de desenvolvimento, mas mudas com 4-5 folhas apresentaram menor variação no crescimento aéreo e radicular. A salinidade teve influência negativa nas características morfofisiológicas a partir de 3 dS m⁻¹, com reduções mais acentuadas no crescimento e no acúmulo de matéria seca a 9 dS m⁻¹ em comparação ao controle (2 dS m⁻¹ de solução nutritiva). O nível crítico de 9 dS m⁻¹ também causou aumento no carbono interno e reduções na transpiração, condutância estomática, fotossíntese, clorofila e funcionalidade estomática. A análise de componentes principais não revelou diferenças entre os acessos de *P. edulis* abaixo de 9 dS m⁻¹. Dez características foram selecionadas para avaliação e discriminação da tolerância à salinidade em *Passiflora* spp. e o uso de plantas com 30 dias de idade (4-5 folhas) sob 9 dS m⁻¹ e 21 dias de exposição é recomendado para a seleção rápida de genótipos.

Palavras-chave Salinidade. Maracujá-amarelo. Variabilidade intraespecífica. Trocas gasosas. Semi-hidropônia. Tolerância

ABSTRACT

Salinity is a serious environmental problem affecting yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) among other crops. The knowledge of the phenological stage, level and time of exposure of plants to stress is essential to identify tolerant genotypes. The morphophysiological responses of five *P. edulis* accessions to saline stress were evaluated with seedlings at two stages of development (1-2 and 4-5 leaves) and six electrical conductivities (ECw: 2 dS m⁻¹ of the nutrient solution; 3, 6, 9, 12 and 15 dS m⁻¹ of the nutrient solution + NaCl) to select the seedling stage, dose and discriminatory characteristics to identify tolerant *Passiflora* spp. The experiment was carried out in a semi-hydroponic setting, with a completely randomized design and a 6 x 2 factorial scheme. The data were subjected to descriptive and multivariate analysis. No significant differences were observed in relation to the stages of development, but seedlings with 4-5 leaves showed less variation in aerial and root growth. Salinity had a negative influence on morphophysiological characteristics from 3 dS m⁻¹ onwards, with more marked decreases in growth and dry matter accumulation at 9 dS m⁻¹ compared to the control (2 dS m⁻¹ of nutrient solution). The threshold level of 9 dS m⁻¹ also caused an increase in internal carbon and reductions of transpiration, stomatal conductance, photosynthesis, chlorophyll and stomatal functionality. Principal component analysis revealed no differences between the *P. edulis* accessions under 9 dS m⁻¹. Ten characteristics were selected for the evaluation and discrimination of salinity tolerance in *Passiflora* spp. and the use of 30-day-old plants (4-5 leaves) under 9 dS m⁻¹ and 21 days of exposure is recommended for the rapid selection of genotypes.

Keywords Salinity. Yellow passion fruit. Intraspecific variability. Gas exchange. Semi-hydroponics. Tolerance

1 INTRODUÇÃO

O maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims) é a espécie economicamente mais importante do gênero *Passiflora* L., e o Brasil é o maior produtor e consumidor mundial com mais de 95% da área plantada global (Silva; Souza, 2020). Em 2023, a produção brasileira foi estimada em aproximadamente 711 mil toneladas, cultivadas em uma área de 45.761 hectares, com produtividade de 15,5 t ha⁻¹ (IBGE, 2024). A região Nordeste é a principal produtora de maracujá no Brasil e os principais municípios produtores estão na região semiárida, onde há altas temperaturas e distribuição irregular de chuvas (Pinheiro *et al.*, 2022; Gheyi *et al.*, 2023; Lima *et al.*, 2023). Essas condições contribuem para a salinidade dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneas nessas áreas de cultivo (Moura *et al.*, 2021; Souto *et al.*, 2023).

A salinidade é apontada mundialmente como um dos grandes desafios ambientais por limitar a produção agrícola, especialmente em regiões áridas e semiáridas (Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Alam *et al.*, 2021; Raggi *et al.*, 2024). Com a expansão das áreas agrícolas, o uso de fontes hídricas alternativas ou degradadas para irrigação tornou-se inevitável (Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Gheyi *et al.*, 2023). A alta concentração de sais na água e no solo afeta negativamente a formação de mudas e o estabelecimento do maracujazeiro sob manejo convencional (Bezerra *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2023), visto que a tolerância das cultivares é baixa e não ultrapassa condutividades elétricas de 4 dS m⁻¹ (Diniz *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2022; Galvão Sobrinho *et al.*, 2023). Isso causa prejuízos não apenas na formação das mudas, mas também nas fases posteriores, principalmente na reprodução, prejudicando a produtividade do maracujá (Lima *et al.*, 2023).

Os efeitos nocivos da salinidade nas culturas devem-se à combinação de vários fatores, incluindo: (i) déficit hídrico devido aos efeitos osmóticos; (ii) toxicidade iônica associada a absorção excessiva de íons sódio (Na⁺) e cloreto (Cl⁻); e (iii) diminuição da absorção de nutrientes minerais (Negrão *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2023). Esses fatores impactam negativamente diversos processos fisiológicos essenciais, incluindo as relações hídricas, a taxa líquida de assimilação de CO₂, a eficiência na captação de luz, a capacidade antioxidante e outros (Bezerra *et al.*, 2019; Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Galvão Sobrinho *et al.*, 2023; Chaudhary *et al.*, 2024). A sensibilidade das plantas indica impactos mais evidentes no crescimento (partes aérea e radicular); reduções no número de folhas, área foliar e acúmulo de matéria seca (Diniz *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2020; Tzortzakakis *et al.*, 2022). Menor condutância estomática implica menor

absorção de CO₂ e produção de energia, o que consequentemente resulta em declínios na taxa de crescimento, vigor, rendimento e qualidade das plantas (El Sabagh *et al.*, 2021; Munawar *et al.*, 2021).

A intensidade dos danos causados pela salinidade depende do genótipo (Denaxa *et al.*, 2022), espécie (Lima *et al.*, 2020; Souto *et al.*, 2023), tempo de exposição e concentração de NaCl (Tlahig *et al.*, 2021; Chaudhary *et al.*, 2024), além do estágio fenológico (El Sabagh *et al.*, 2021; Chaudhry; Sidhu, 2022). Sob níveis salinos entre 1,3 e 4,0 dS m⁻¹, Lima *et al.* (2023) demonstraram que houve diferença nas respostas das plantas de *P. edulis* entre os estágios vegetativo e reprodutivo em condições de campo. Entretanto, pesquisas em condições naturais demandam grande área e tempo para avaliação, além da presença de ambientes heterogêneos e complexos (Shehzad *et al.*, 2021; Tao *et al.*, 2021), tornando inviável a identificação de um grande número de genótipos entre as diferentes espécies do gênero *Passiflora*, tendo em vista que o desenvolvimento de cultivares tolerantes depende de extensa exploração intra e interespecífica para identificação de germoplasmas promissores (Lima *et al.*, 2020).

Além disso, na literatura não existem critérios bem estabelecidos como a dose limite, o tempo de exposição ao estresse ou a fase fenológica ideal das mudas para a rápida avaliação e identificação de espécies de maracujá contrastantes e/ou tolerantes à salinidade em condições controladas. Para tanto, é essencial utilizar a espécie comercial de maracujá (*P. edulis*) como referência para o estudo, o que definirá os critérios a serem utilizados na avaliação da variabilidade existente entre *Passiflora* spp. Em particular, a tolerância à salinidade é essencial para a viabilidade comercial atual e futura do cultivo de maracujá em regiões áridas e semiáridas (Moura *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2022).

Dentre as estratégias existentes, os sistemas hidropônicos e semi-hidropônicos têm sido amplamente utilizados para avaliar o maracujá (Lima *et al.*, 2020) e outras espécies (Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2020; 2023; Marques *et al.*, 2024). Esses sistemas ou plataformas de fenotipagem podem acomodar um número maior de plantas em uma pequena área para triagem de genótipos (Chen *et al.*, 2011; Qiao *et al.*, 2019); e permitem o controle de fatores ambientais e o manejo de sais dissolvidos em solução nutritiva (Shehzad *et al.* 2021).

O processo de fenotipagem utiliza inúmeras características morfométricas relacionadas ao crescimento, produção de biomassa aérea e radicular, bem como variáveis fisiológicas e anatômicas (Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021; Raggi *et al.*, 2024), visando tanto a compreensão das respostas adaptativas das plantas quanto a encontrar

marcadores apropriados para identificar a tolerância das culturas (Bogoutdinova *et al.*, 2024). No entanto, esse processo é demorado e pode resultar em apenas uma pequena contribuição para a seleção final. Por ser um parâmetro complexo, é difícil prever a tolerância à salinidade com base em uma característica específica (Alam *et al.*, 2021). A indicação de variáveis mais informativas e discriminantes por meio da análise de componentes principais (PCA) é relatada como uma importante ferramenta estatística no processo de triagem de genótipos tolerantes (Sivakumar *et al.*, 2020; Alam *et al.*, 2021; Denaxa *et al.*, 2022).

Assim, com o objetivo de estabelecer estratégias metodológicas que subsidiem a avaliação rápida e eficiente dos recursos genéticos, conduzimos este estudo com o objetivo de avaliar as respostas morfofisiológicas de cinco acessos de maracujá-amarelo (*P. edulis*) ao estresse salino com mudas em dois estádios de desenvolvimento e diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, visando selecionar a fase fenológica, dose limiar de NaCl e características importantes para o rastreamento de genótipos tolerantes de *Passiflora* spp.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento e material vegetal utilizado

O experimento foi conduzido em casa de vegetação por 30 dias na Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil (12° 40' S, 39° 06' W, 226 m). A temperatura média do ar variou de 25,1 a 28,1 °C e a umidade relativa média do ar de 76,2 a 86,2% (Figura 1). Foram utilizados cinco acessos da espécie *Passiflora edulis* (BGP190, BGP418, BGP424, BGP427 e BGP436), pertencentes ao Banco de Germoplasma de *Passiflora* da Embrapa. As sementes utilizadas para o experimento foram obtidas de frutos recém-colhidos, oriundos de polinização cruzada.

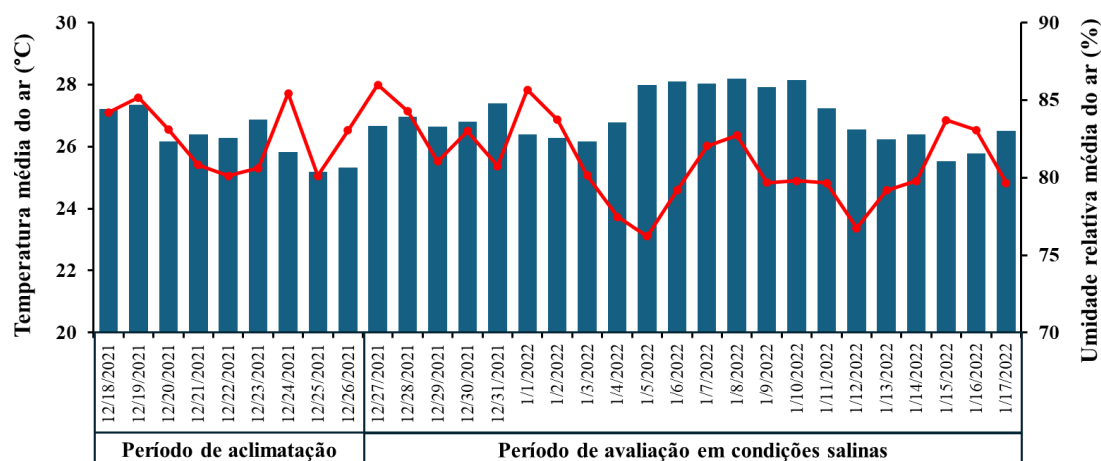


Figura 1. Dados médios de temperatura e umidade relativa do ar coletados na unidade experimental durante o período de estudo.

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2, sendo seis níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva (CEa: 2, 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹) e dois estádios de desenvolvimento da planta (mudas com 4-5 folhas e 1-2 folhas definitivas). Foram utilizadas 10 plantas (cinco repetições de duas plantas) no controle (CEa: 2 dS m⁻¹ de solução nutritiva) e 10 plantas nas demais condições salinas (CEa: 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹ de solução nutritiva + NaCl), totalizando 600 plantas avaliadas.

2.3 Obtenção das mudas e sistema hidropônico

Para a obtenção de mudas uniformes, a germinação das sementes ocorreu sob condições controladas em BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) com temperaturas alternadas com 20 °C por 16 horas e 30 °C por 8 horas, no escuro (Brasil, 2009). Após oito dias, as sementes germinadas foram transplantadas para bandejas contendo vermiculita expandida (Agrofloc®) em casa de vegetação. As plantas de *P. edulis* selecionadas para o transplante e avaliação no sistema hidropônico apresentaram idades distintas – mudas com 4-5 folhas foram transplantadas aos 30 dias após a semeadura (DAS) e aquelas com 1-2 folhas aos 20 DAS. Para tal, utilizou-se copos descartáveis perfurados na base com capacidade para 80 mL, contendo areia de granulometria média lavada e estéril. As mudas foram distribuídas em bandejas de vidro utilizando um sistema semi-hidropônico desenvolvido para mantê-las sob irrigação controlada (Figura 2).

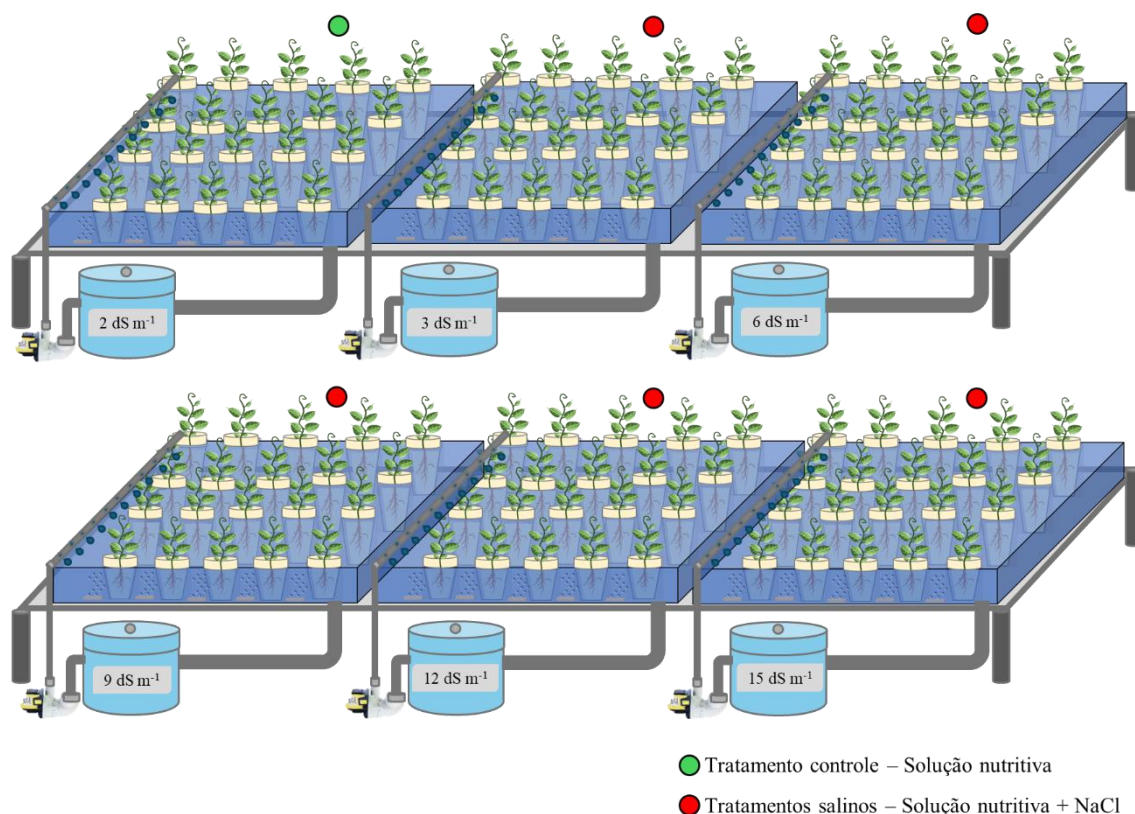


Figura 2. Representação esquemática do sistema hidropônico desenvolvido para avaliação de *Passiflora* spp. sob estresse em condições controladas.

O sistema hidropônico consistiu em seis bandejas de vidro nas proporções de 130 cm x 90 cm x 13 cm. A circulação de água foi automática, consistindo em 10 ciclos diários com 30 minutos de irrigação e 1 hora de intervalo, com vazão de $13,33 \text{ L min}^{-1}$. As soluções foram oxigenadas por meio de bombas de aquário (Emicol®) acopladas individualmente aos reservatórios (Figura 2), com potência de 32 W e tensão de operação de 127 V (Mondial®, linha Clean).

Foram avaliados seis níveis de condutividade elétrica da água (CEa: 2, 3, 6, 9, 12 e 15 dS m^{-1}), sendo o controle contendo solução nutritiva para hidroponia (Forth Solúveis®) CEa: 2 dS m^{-1} . Para diluir a solução nutritiva utilizou-se água do abastecimento local na proporção de 1 g L^{-1} . Para os tratamentos submetidos ao estresse salino, além do adubo hidropônico (pH 5,6 a 6,5), foi acrescentado o cloreto de sódio (NaCl) para alcançar as concentrações de estresse testadas (CEa: 3, 6, 9, 12 e 15 dS m^{-1}). Para tal, utilizou-se a seguinte fórmula: $\text{mg L}^{-1} (\text{NaCl}) = 640 \times (\text{CE}_{\text{desejada}} - \text{CE}_{\text{atual}})$, sendo $\text{CE}_{\text{desejada}}$ = a condutividade elétrica da água a ser alcançada; CE_{atual} = a condutividade elétrica na qual a água se encontra (Moura *et al.*, 2021).

Soluções com diferentes níveis de CE foram acondicionadas em reservatórios plásticos com 60 L de capacidade (Figura 2). As plantas foram aclimatadas no sistema por seis dias após o transplântio (DAT). Aos 7 DAT, foi adicionado NaCl à solução até a dosagem inicial de 3 dS m^{-1} para todas as bandejas, exceto o controle (livre de solução salina). Aos 10 DAT a CE foi aumentada até completar as concentrações finais desejadas (6, 9, 12 e 15 dS m^{-1}). As plantas foram mantidas no sistema por 21 dias após a salinização das soluções. O nível, pH e CE foram monitorados a cada dois dias, mantendo o volume de 30 L e pH entre 5,5 e 6,5. A CE só foi corrigida (com água do abastecimento local e/ou solução nutritiva para os tratamentos controle e salino) quando reduzida em cerca de 20% da CE inicial.

Foram utilizados 30 g de fertilizante (Forth Solúveis[®]) e 3 g de quelato de ferro, totalizando 33 g de produto dissolvido em 30 L de água em cada reservatório do sistema. Para a solução nutritiva, utilizou-se $1,0 \text{ g L}^{-1}$ de fertilizante para fertirrigação com a seguinte composição: nitrogênio (N - 10%); fósforo (P_2O_5 - 2%); potássio (K_2O - 30%); boro (B - 0,03%); enxofre (S - 10,9%); ferro (Fe - 0,2%); e magnésio (Mg - 1%). A essa solução foi adicionado $0,1 \text{ g L}^{-1}$ de quelato de ferro (Fe - 6%; Rexene[®] Ferro Q48).

2.4 Caracteres fisiológicos

Foram avaliados os seguintes caracteres fisiológicos: carbono interno (C_i); taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA) dada pela razão A/E, eficiência intrínseca do uso da água (iEUA) dada pela razão A/ g_s e o índice de concentração de clorofila total – CLT, mensurado com clorofilômetro digital e portátil (CCM-200). As medidas de troca gasosa (C_i , A, g_s e E) foram realizadas utilizando um analisador de infravermelho portátil – IRGA LCpro-SD (ADC BioScientific Limited, UK) com $1000 \mu\text{m}$ de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Durante as medições, a concentração externa de dióxido de carbono (CO_2) foi controlada e mantida em $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pelo controle interno do IRGA, que regula a entrada de CO_2 na câmara de medição. Estas características foram mensuradas após manifestação dos sintomas de toxidez iônica provocada pelo NaCl em folhas adultas completamente expandidas, entre 9:00 e 11:00, aos 15 e 20 dias após a salinização das plantas.

2.5 Caracteres biométricos

As variáveis biométricas avaliadas aos 0, 7, 14 e 21 dias após a exposição das plantas ao estresse salino (DAE) foram: altura da planta (ALT) em cm, mensurada com auxílio de uma régua milimetrada do colo da planta até a gema apical; diâmetro do caule (DC) em mm, aferido com auxílio de paquímetro digital, imediatamente abaixo das folhas cotiledonares; número de folhas (NF); comprimento e largura da folha (CF) e (LF) em mm, aferido com auxílio de paquímetro digital.

Ao final do experimento (21 DAE) avaliou-se a área foliar total (AF) em cm², estimada com o auxílio do software ImageJ (Rasband, 1997-2018) por meio das imagens das folhas das plantas; massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSRA), determinadas com auxílio de balança semianalítica e os resultados expressos em gramas (g). A massa seca foi obtida após secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C, até as amostras atingirem peso constante.

Três raízes por tratamento foram acondicionadas em álcool 30% e refrigeradas até o processo de digitalização das imagens, realizado por meio de escâner para obtenção das seguintes variáveis: comprimento total de raiz (CTR) em cm; diâmetro médio de raiz (DMR) em mm, volume total de raiz (VTR) em cm³, e comprimento total de raiz em função da classe de diâmetro: RL1: 0.0 a 0.5 mm; RL2: 0.5 a 1.0 mm; RL3: 1.0 a 1.5 mm; RL4: 1.5 a 2.0; RL5: > 2.0 mm. O processamento das imagens foi realizado por meio do software WinRizho, versão 2013d, com resolução de 400 dpi.

2.6 Caracteres anatômicos

Foram analisadas a densidade estomática (DES) em mm², diâmetro polar do estômato (DPE), diâmetro equatorial do estômato (DEE) em µm e a funcionalidade estomática (FES), calculada como a razão DPE/DEE. Para tal, utilizamos o método de esmalte, conforme descrito por Pathoumthong *et al.* (2023). As impressões dos estômatos foram analisadas e fotografadas com microscópio Olympus BX51 acoplado a câmera digital Olympus DP175 (Olympus, Tóquio, Japão).

O processamento das imagens foi realizado com auxílio do software ImageJ (Rasband, 1997-2018). Foram utilizadas cinco imagens (repetições) por acesso em cada dose e estágio de desenvolvimento avaliados, totalizando 300 imagens avaliadas. Para cada imagem foi realizado o comprimento e o diâmetro; e a contagem do número total de estômatos. Além disso, cinco estômatos foram mensurados por imagem quanto ao DPE e DEE, totalizando 1.500 estômatos analisados.

2.7 Sintomatologia visual das folhas

Para avaliar os danos causados pelo estresse salino na qualidade das mudas de *P. edulis*, criou-se uma escala de notas em função dos sintomas deletérios ocasionados pelos íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) nas folhas de maracujá. As avaliações transcorreram após surgimento dos sintomas foliares aos 14 e 21 dias após a salinização da solução. A escala de notas varia de 1 a 5, sendo 1 para folhas sem sintomas e 5 para folhas murchas com muitos pontos de queimadura e necrose (Figura 3). Aos 21 dias após a salinização das plantas, as notas obtidas foram transformadas em índices de sintomas e apresentados em porcentagem (IS%). Para calcular os IS utilizou-se a equação proposta por McKinney (1923).

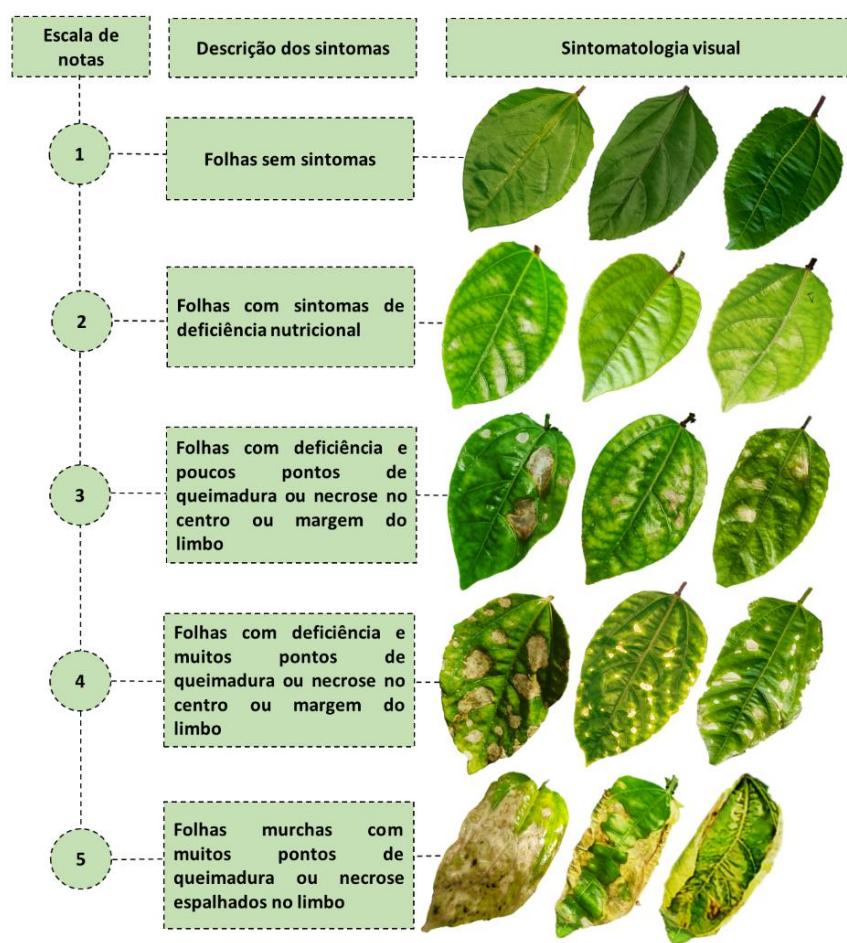


Figura 3. Escala de notas e sintomatologia foliar de plantas de *Passiflora edulis* Sims submetidas ao estresse salino em sistema semi-hidropônico utilizadas para obtenção do índice de sintomas.

2.8 Análise estatística

Os dados de crescimento avaliados durante o período experimental (0-21 DAE) foram representados por meio de gráficos de linha para visualizar a dispersão dos tratamentos, e as diferenças entre a última e a primeira avaliação em cada estágio fenológico e nível de condutividade elétrica foram representadas por meio de gráficos do tipo boxplot. Os dados coletados ao final do experimento (21 DAE) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste t ($p \leq 0,05$) para comparar a influência do estágio de desenvolvimento da planta nas respostas biométricas, fisiológicas e anatômicas avaliadas para cada condutividade elétrica. Esses dados foram representados por boxplots.

No que se refere à análise multivariada, realizou-se a análise de componentes principais (PCA) com todas as características e acessos de *P. edulis* com 4-5 folhas no controle (2 dS m^{-1}) e na dose crítica selecionada (9 dS m^{-1}), bem como a rede de correlação com base no coeficiente de correlação de Pearson para avaliar a relação entre as variáveis estudadas na dose selecionada e qual dessas contribuem de forma eficiente para a variação total disponível entre os acessos. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico R, por meio dos pacotes agricolae e ggplot (R Development Core Team, 2023).

3 RESULTADOS

3.1 Características biométricas

Para as características avaliadas temporalmente entre 0 e 21 dias após o estresse salino (DAE), observou-se uma redução progressiva com o aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva acrescida de NaCl (CEa: 3, 6, 9, 12 e 15 dS m^{-1}). Isso ocorreu independentemente do estágio de desenvolvimento e com maiores variações a partir dos 14 DAE para todas as variáveis (Figura 4A-H), com implicações para o desenvolvimento das mudas (Figura 4M).

Houve redução para altura (ALT) e diâmetro do caule (DC) quando as plantas foram submetidas ao menor nível de estresse – 3 dS m^{-1} . Os decréscimos para mudas com 4-5 folhas foram de 24,55 e 8,70%, respectivamente (Figura 4A; C), e para mudas com 1-2 folhas, 47,82 e 21,86%, respectivamente (Figura 4B; D). Ao analisar o comprimento (CF) e a largura (LF) da mesma folha ao longo do tempo em concentrações de sal a partir de 3 dS m^{-1} , as reduções na expansão foliar foram mais de 11,0 e 13,46%, respectivamente, para mudas com 1-2 folhas (Fig. 4 F e H); enquanto mudas com 4-5 folhas apresentaram reduções $> 34,58\%$ nessas características a partir de 6 dS m^{-1} (Figura 4 E-G).

Ao compararmos as mudas de *P. edulis* com 4-5 e 1-2 folhas, não foram observadas diferenças em relação ao incremento no crescimento total (dado pela diferença na média entre os tempos final e inicial da avaliação) quando as plantas cresceram na ausência de sal – 2 dS m⁻¹ (Figura 4I-K). No entanto, entre os tratamentos salinos, diferenças significativas ($p \leq 0,01$) foram notadas para ALT a 6 dS m⁻¹ (Figura 4I) e para CF e LF sob 6 e 9 dS m⁻¹ (Figura 4K, L), sendo que as plantas com 1-2 folhas apresentaram as maiores médias nessas condições em comparação com as de 4-5 folhas. Quanto à influência da CEa, de modo geral, a partir de CEa: 9 dS m⁻¹ as plantas de *P. edulis* foram altamente afetadas, apresentando crescimento e expansão foliar limitados (Figura 4I-M).

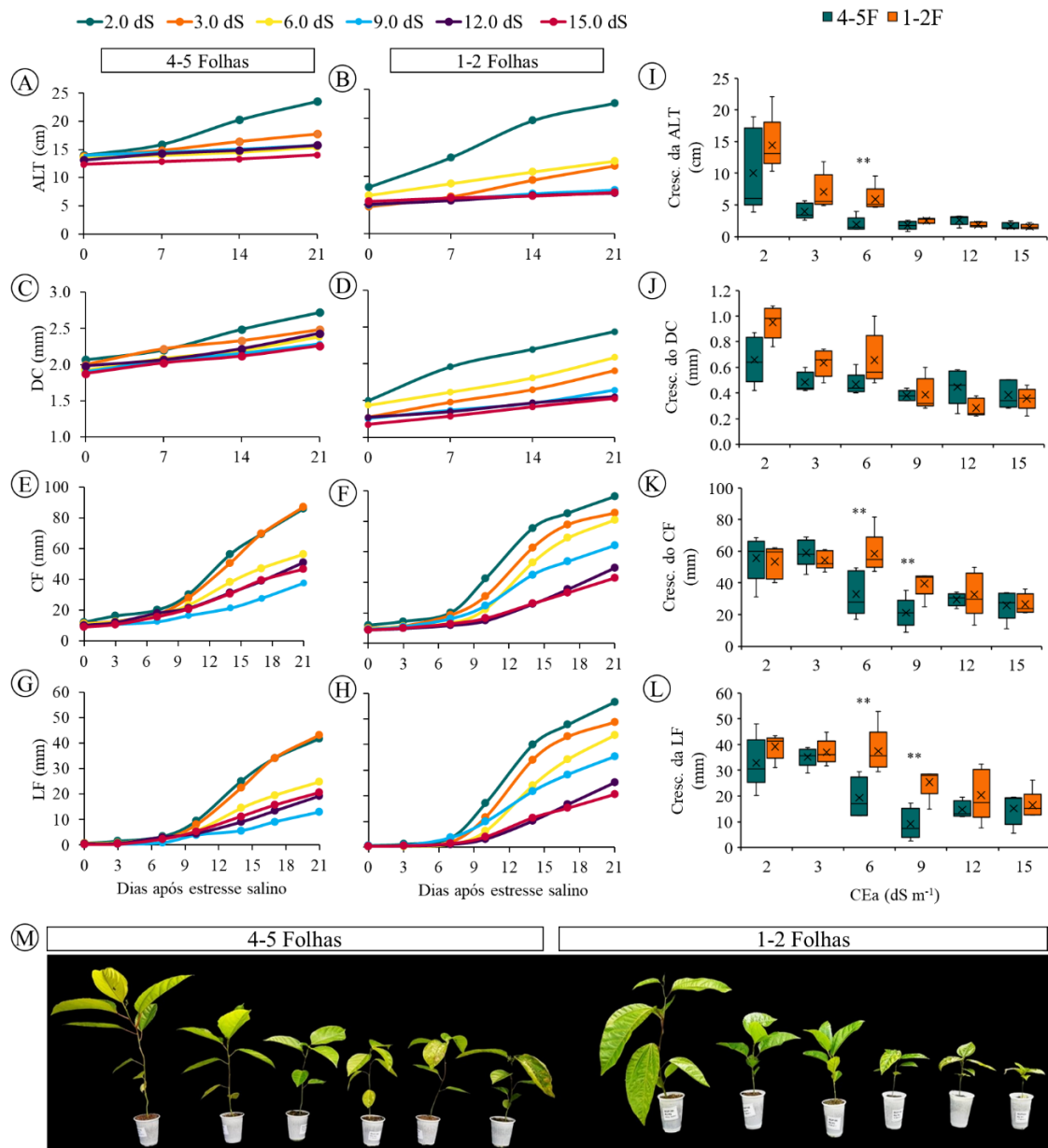


Figura 4. Resposta temporal (0 a 21 dias após o estresse - DAE) quanto ao crescimento dos acessos de *Passiflora edulis* Sims em dois estádios de desenvolvimento (mudas com 4-5 e 1-2 folhas definitivas) submetidos a cinco concentrações de NaCl (CEa: 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹) e seu controle (CEa: 2 dS m⁻¹ de solução nutritiva). A, B: altura das plantas (ALT) com 4-5 e 1-2 folhas, respectivamente; C, D: diâmetro do caule (DC) das plantas com 4-5 e 1-2 folhas, respectivamente; E, F: comprimento da folha (CF) das plantas com 4-5 e 1-2 folhas, respectivamente; G, H: largura da folha (LF) das plantas com 4-5 e 1-2 folhas, respectivamente; I-L: boxplot do incremento no crescimento das plantas com 4-5 e 1-2 folhas aos 21 DAE nas respectivas CEa avaliadas; M: representação fenotípica das plantas de *P. edulis* nos dois estádios de desenvolvimento avaliados após 21 DAE. Considerou-se ** altamente significativo a $p \leq 0.01$ pelo teste t as diferenças entre plantas

com 4-5 e 1-2 folhas definitivas nas seis condutividades elétricas da solução nutritiva avaliadas (CEa: 2, 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹).

Ao final do experimento (21 DAE), a análise de 13 variáveis biométricas revelou poucas diferenças nas respostas apresentadas entre as mudas com 4-5 e 1-2 folhas definitivas (Figura 5A-M). Na ausência de NaCl (CEa: 2 dS m⁻¹), apenas a largura da folha (LF) foi influenciada pelo estágio no qual as plantas foram avaliadas (Figura 5E). Entretanto, para altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DC), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e diâmetro médio de raiz (DMR), houve variação entre as mudas na maioria das concentrações salinas (Figura 5A, B; I, J; L). Em relação ao índice de sintomas (IS) observou-se maior sensibilidade ao estresse salino nas mudas com 1-2 folhas, diferindo das com 4-5 folhas nas CEa de 9 e 12 dS m⁻¹ (Figura 5G). Sob essas doses salinas o IS médio variou de 40,50% a 53,50% e 40,86% a 56,50% para mudas com 4-5 e 1-2 folhas, respectivamente (Figura 5G).

Características como número de folhas (NF), comprimento da folha (CF), área foliar (AF) e aquelas relacionadas às raízes (comprimento da raiz - CR, comprimento total de raiz - CTR e volume total de raiz - VTR) apresentaram baixa ou nenhuma variação em função das mudas com diferentes números de folhas no início do experimento (Figura 5C, D, F, H, K, M). Em contrapartida, a CEa influenciou as respostas biométricas relacionadas ao crescimento e acúmulo de massa seca da parte aérea e da raiz das plantas de *P. edulis*. Com o aumento das concentrações salinas a partir de 3 dS m⁻¹, de modo geral foram observados decréscimos em relação ao tratamento controle (Figura 5A-M). As diferenças foram mais contundentes a partir de 9 dS m⁻¹, com reduções superiores a 30,0% para mudas com 4-5 folhas e de 60,0% para as com 1-2 folhas, variando, respectivamente entre 35,0 e 66,31% para ALT; 47,0 e 61,0% para AF; 38,74 e 66,27% para MSPA; 41,0 e 62,0% para MSR (Figura 5A; F; I, J).

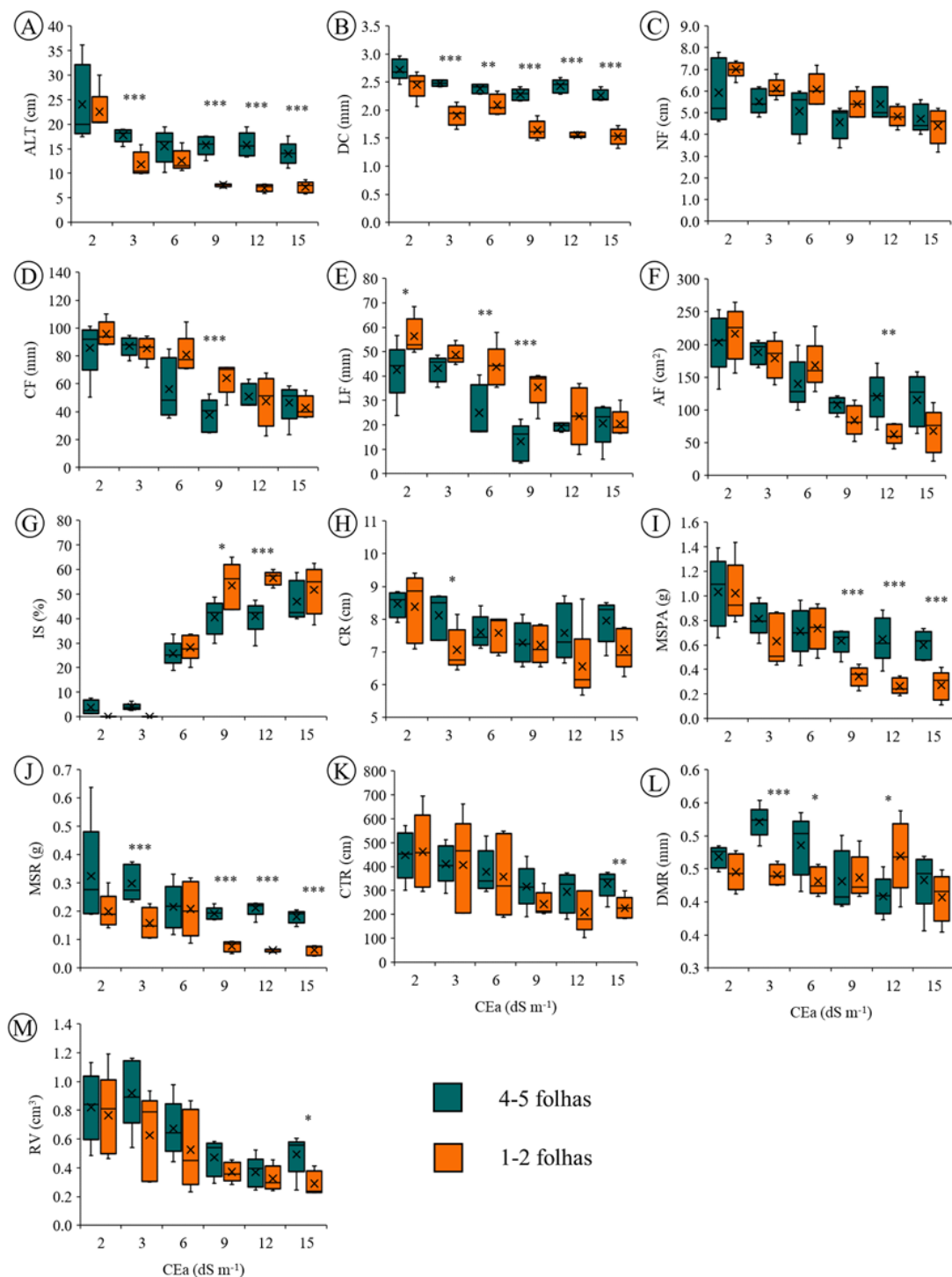


Figura 5. Boxplot das variáveis biométricas para comparação dos valores médios de mudas em dois estádios de desenvolvimento (com 4-5 e 1-2 folhas definitivas) pertencentes à cinco genótipos de *Passiflora edulis* Sims em função de cinco concentrações de NaCl (CEa: 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹) e seu controle (CEa: 2 dS m⁻¹ de solução nutritiva) aos 21 dias após o estresse (DAE). A: altura da planta (ALT); B: diâmetro do caule (DC); C: número de folhas (NF); D: comprimento da folha (CF); E: largura da folha (LF); F: área foliar (AF); G: índice de sintomas provocados pelo estresse

salino (IS); H: comprimento da raiz (CR); I: massa seca da parte aérea (MSPA); J: massa seca da raiz (MSR); K: comprimento total da raiz (CTR); L: diâmetro médio de raiz (DMR); M: volume total de raiz (VTR). Considerou-se * significativo a $p \leq 0.05$ e **, *** altamente significativo a $p \leq 0.01$ e $p \leq 0.001$, respectivamente na comparação de médias entre as mudas em dois estágios de desenvolvimento pelo teste t.

3.2 Características fisiológicas e anatômicas

Em relação às respostas fisiológicas aos 20 DAE, de modo geral, não foram observadas diferenças marcantes na comparação entre as mudas de *P. edulis* com 4-5 e 1-2 folhas (Figura 6A-K). Em contrapartida, independentemente do estágio de desenvolvimento, as mudas submetidas a tratamentos salinos com CEa acima de 6 dS m^{-1} induziram respostas diferentes às do controle (2 dS m^{-1} de solução nutritiva), tornando-se mais contundentes a partir de 9 dS m^{-1} para a maioria das características avaliadas (Figura 6A-K).

Para mudas com 4-5 e 1-2 folhas sob 9 dS m^{-1} houve, respectivamente, aumento de carbono interno – Ci (11,0 e 7,0%); e reduções na transpiração – E (22,0 e 12,0%), condutância estomática – gs (32,25 e 18,09%), taxa fotossintética líquida – A (51,36 e 37,19%) e clorofila total – CLT (49,70 e 39,61%) (Figura 6A-D; K). As reduções substanciais da A em relação a E e gs, favoreceram os decréscimos na eficiência – EUA e na eficiência intrínseca no uso da água – iEUA com reduções de 37,65 e 25,74% para EUA e 32,02 e 21,89% para iEUA, em respectivo, para plantas com 4-5 e 1-2 folhas submetidas à CEa: 9 dS m^{-1} (Figura 6E, F).

Em relação às avaliações anatômicas, de modo geral, houve pouca variação entre os estádios fenológicos (1-2 e 4-5 folhas) e os níveis de cloreto de sódio avaliados, com exceção do tratamento controle (2 dS m^{-1}), onde as plantas mais jovens (1-2 folhas) apresentaram menores médias para o diâmetro polar do estômato – DPE e a funcionalidade estomática – FES, diferindo das mudas com 4-5 folhas (Figura 6G; I). Sob condições de estresse, entretanto, houve variação em relação ao estágio fenológico apenas para o diâmetro polar nas doses de 9 e 12 dS m^{-1} (Figura 6G).

A relação entre DPE e diâmetro equatorial do estômato (DEE) reflete a funcionalidade estomática – FES, que, de maneira geral, não apresentou diferenças entre as médias das plantas com 4-5 e 1-2 folhas definitivas. Entretanto, o aumento da CEa refletiu em uma respectiva redução de 20,21 e 7,59% sob 9 dS m^{-1} , demonstrando que em condições salinas, as plantas de *P. edulis* tendem ao fechamento parcial dos estômatos

(Figura 6I), corroborando com os decréscimos observados na E, g_s e A (Figura 6B-D). Além disso, a densidade estomática (DES) foi reduzida em aproximadamente 36,0% a partir de 6 dS m⁻¹ independente do estágio de desenvolvimento da planta (Figura 6J).

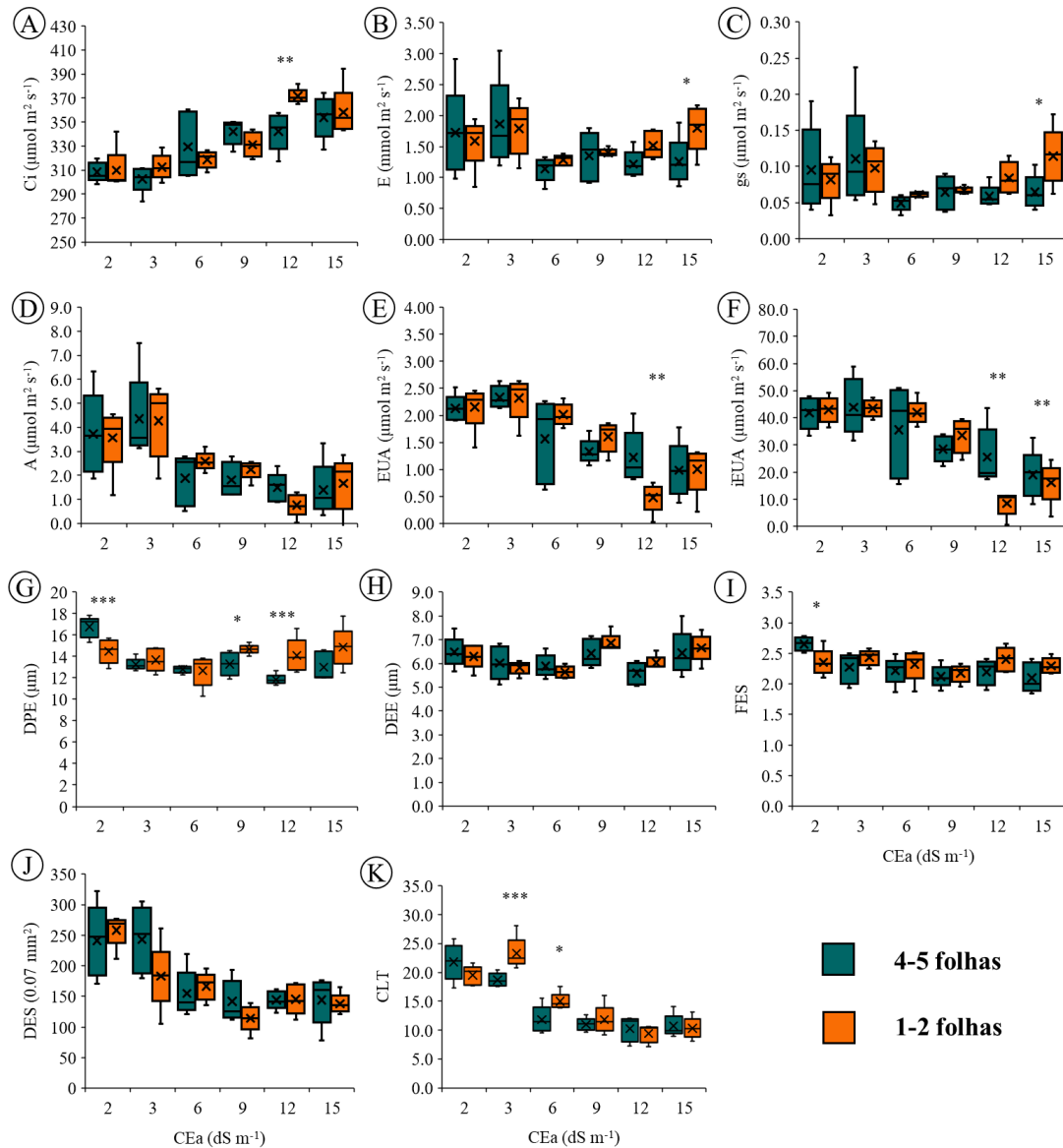


Figura 6. Boxplot dos valores médios para as variáveis fisiológicas e anatômicas analisadas entre plantas de *P. edulis* Sims em dois estádios de desenvolvimento (4-5 e 1-2 folhas definitivas) sob cinco concentrações de NaCl (CEa: 3, 6, 9, 12 e 15 dS m⁻¹) e seu controle (CEa: 2 dS m⁻¹ de solução nutritiva) aos 20 dias após o estresse (DAE). A: carbono interno (Ci); B: transpiração (E); C: condutância estomática (g_s); D: fotossíntese (A); E: eficiência no uso da água (EUA); F: eficiência intrínseca no uso da água (iEUA); G: diâmetro polar do estômato (DPE); H: diâmetro equatorial do estômato (DEE); I:

funcionalidade estomática (FES); J: densidade estomática (DES) e K: clorofila total (CLT). Considerou-se * significativo a $p \leq 0.05$ e **, *** altamente significativo a $p \leq 0.01$ e $p \leq 0.001$, respectivamente na comparação de médias entre as mudas em dois estágios de desenvolvimento pelo teste t.

3.3 Análise multivariada de *Passiflora edulis* Sims na dose crítica selecionada

Com base nos resultados obtidos para as características avaliadas (Figuras 4, 5 e 6), ficou claro que 9 dS m⁻¹ é uma dose limite, pois causou reduções drásticas nos parâmetros sem, contudo, comprometer a sobrevivência das plantas. Quanto aos estádios fenológicos, o desempenho das mudas nos níveis de salinidade testados foi semelhante, provavelmente por se encontrarem no estágio juvenil de desenvolvimento. Mudanças com 1-2 folhas, no entanto, apresentaram maior variação de características de crescimento como altura da planta, diâmetro do caule, comprimento e largura da folha em relação às CE de NaCl utilizado (Figuras 4 A-H, 5 A, B, D e E), o que pode comprometer os resultados quando diferentes espécies de *Passiflora* são avaliadas. Além disso, é mais prudente utilizar mudas com 4-5 folhas no método, pois são mais desenvolvidas, mais estáveis e denotam mudas ideais para plantio em campo.

Assim, com base nos aspectos fenotípicos de plantas de *P. edulis* com 4-5 folhas sob nível moderado de salinidade (CEa: 9 dS m⁻¹), observou-se que independentemente do acesso avaliado, o crescimento foi afetado quando comparado ao seu controle (CEa: 2 dS m⁻¹ de solução nutritiva) (Figura 7A). A análise de componentes principais – PCA realizada com todas as 27 variáveis revelou que os dois primeiros componentes explicaram 76,1% da variação total dos dados, com contribuição de 59,6 e 16,5% dos componentes principais 1 (PC1) e 2 (PC2), respectivamente (Figura 7B). Os acessos de *P. edulis* foram separados em quatro grupos com destaque para os tratamentos controle (CEa: 2 dS m⁻¹), que apresentaram, de maneira geral, as maiores médias para a maioria das variáveis avaliadas (Figura 7B). As características biométricas que mais contribuíram para a discriminação no PC1 foram as relacionadas à parte aérea (DC, AF, LF e CF), seguidas pelo índice de sintomas (IS) e Ci; características de raiz (RL3, VTR) e fisiológicas (FES, CLT, iEUA, EUA). As variáveis menos contributivas foram: MSR, gs, E e DEE (Figura 7C). Em contraste, para PC2, o maior poder discriminatório foi observado para gs, E, A (Figura 7B). Outro ponto importante que pode ser destacado é a forte relação entre o Ci e o IS e maior contribuição destas variáveis para o tratamento salino CEa: 9 dS m⁻¹ (Figura 7B-E).

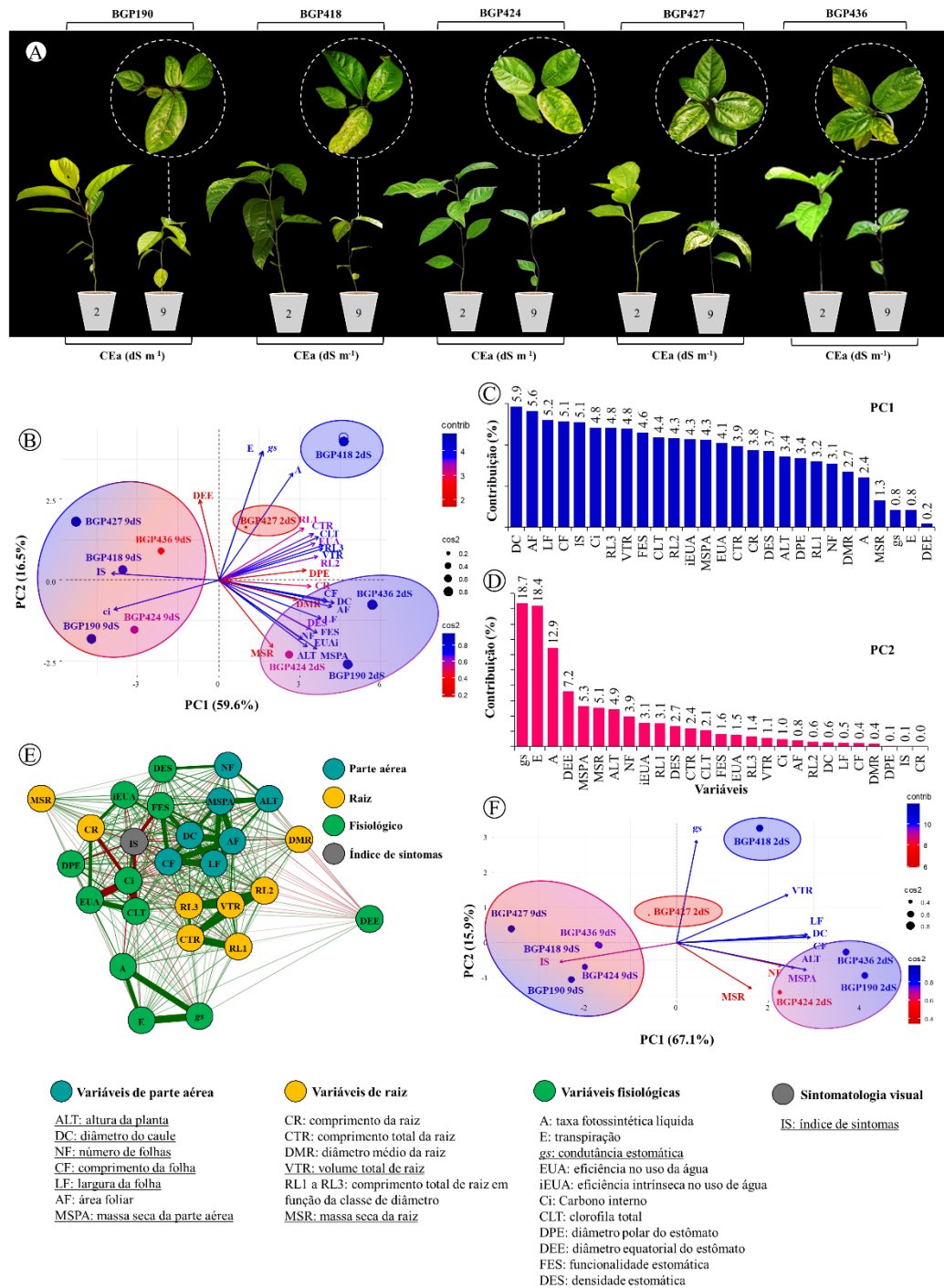


Figura 7. A: Aspecto fenotípico das plantas com 4-5 folhas dos cinco acessos de *P. edulis* avaliados em condições controle (CEa: 2 dS m⁻¹ de solução nutritiva) e na dose de NaCl selecionada (CEa: 9 dS m⁻¹) aos 21 dias após o estresse (DAE). B-D: Análise de componentes principais (PCA) mostrando o agrupamento (B) e contribuição das variáveis no PC1 (C) e PC2 (D) avaliadas em acessos de *P. edulis* submetidos a 2 e 9 dS m⁻¹. As setas representam a direção da característica e as cores do gradiente representam a contribuição de cada característica para os componentes. Do azul ao vermelho:

contribuições altas a baixas. E: Correlação de Pearson entre as características biométricas, fisiológicas e índice de sintomas realizada com mudas de *P. edulis* com 4-5 folhas submetidos a 9 dS m⁻¹. F: PCA realizado com as 10 características selecionadas e os cinco acessos de *P. edulis* submetidos a 2 e 9 dS m⁻¹. As características selecionadas estão sublinhadas na lista das variáveis analisadas.

A análise de correlação mostrou que o índice de sintomas (IS) apresentou correlações negativas de diferentes magnitudes com a maioria das características em análise, especialmente as fisiológicas (CLT, EUA, FES e DPE), correlações negativas de média e baixa magnitudes com os caracteres biométricos ligados à parte aérea e a raiz; e positiva apenas com Ci (Figura 7E).

Com base na contribuição dos dois primeiros componentes e na correlação entre as características, foram selecionadas dez (10) variáveis (ALT, DC, NF, CF, LF, IS, MSPA, MSR, VTR e gs) para identificação de genótipos tolerantes à salinidade (Figura 7F), sem comprometer o agrupamento realizado anteriormente com todas as 27 variáveis analisadas (Figura 7B).

4 DISCUSSÃO

A salinidade impacta o metabolismo vegetal, perturbando a homeostase das plantas em razão de estresses hiperosmóticos e/ou hiperiônicos que levam, respectivamente, à redução do potencial hídrico e acúmulo de íons como sódio e/ou cloreto a um nível tóxico (Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020; Tomar *et al.*, 2021). Espécies sensíveis ao estresse salino manifestam efeitos negativos ao longo de seu ciclo de vida (Taiz *et al.*, 2021; Chaudhary *et al.*, 2024), sendo especialmente suscetíveis durante os estádios iniciais de germinação, crescimento de mudas e na fase reprodutiva (Atta *et al.*, 2023; Lima *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2024). O maracujazeiro, diferente de outras culturas cujas sementes são germinadas diretamente em solos salinos (Li *et al.*, 2020; Pavli *et al.*, 2021; Raggi *et al.*, 2024), é plantado na fase de muda, deste modo determinar o nível de tolerância à salinidade nessa etapa inicial é fundamental para subsidiar a identificação rápida de genótipos superiores em estudos futuros de triagem.

Neste estudo foi utilizado como a espécie referência o maracujazeiro que produz o maracujá-amarelo (*P. edulis*) já que representa mais de 95% da área plantada no Brasil (Silva; Souza, 2020). Essa espécie foi a balizadora para a definição dos critérios metodológicos de seleção de genótipos tolerantes à salinidade. Os resultados

demonstraram que as reduções nas características avaliadas são dose-dependentes e independem da idade em que as mudas foram testadas (Figuras 4-6). Este comportamento também foi reportado para espécies leguminosas (Pavli *et al.*, 2021; Mi *et al.*, 2024), hortaliças (Silvakumar *et al.*, 2020; Seymen *et al.*, 2023) e frutíferas (Denaxa *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2023) avaliadas em estádios distintos (sementes, plântulas, mudas e plantas adultas), onde a inibição ou redução das características esteve diretamente relacionada à severidade do estresse aplicado. Observou-se ainda que 21 dias de estresse salino induzido sob condições semi-hidropônicas foram suficientes para causar danos mensuráveis no crescimento após 14 dias de estresse (Figura 4). De forma semelhante, Lima *et al.* (2020) observaram que 14 a 20 dias de exposição a níveis severos de salinidade (15 dS m⁻¹) induz danos no crescimento, aspectos fisiológicos, anatômicos e nutricionais em plantas adultas de *P. edulis* (fase vegetativa).

Embora os níveis de tolerância à salinidade e as metodologias para avaliar a variabilidade em *Passiflora* ainda não estejam bem estabelecidos, estudos realizados com cultivares da espécie comercial (*P. edulis*) indicam sua sensibilidade. A elevação dos níveis salinos com CEa entre 0,3 e 6,3 dS m⁻¹ reduziu desde o potencial germinativo das sementes à qualidade dos frutos produzidos em condições controladas (Andrade *et al.*, 2018; Figueiredo *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2021; Paiva *et al.*, 2023; Sobrinho *et al.*, 2023). Esses estudos sugerem que o limite de salinidade para *P. edulis* em qualquer estágio de desenvolvimento é baixo, não excedendo 4 dS m⁻¹, especialmente nas fases vegetativas e reprodutivas (Lima *et al.*, 2023; Souto *et al.*, 2023). Contudo, quando se busca estabelecer condições para seleção de genótipos tolerantes, a pressão de seleção deve ser elevada o suficiente para garantir a identificação dos genótipos mais promissores para incorporação aos programas de melhoramento (Santos *et al.*, 2024). Dessa forma, espera-se que as progênies obtidas nos cruzamentos interespecíficos (*P. edulis* x *Passiflora* spp.) venham apresentar os genes que condicionam maior tolerância a salinidade.

Os efeitos mais acentuados com reduções superiores a 30 e 60% para plantas com 4-5 e 1-2 folhas, respectivamente, foram registrados quando a CEa foi elevada para 9 dS m⁻¹ (Figura 5). Esse nível crítico de salinidade comprometeu fortemente o crescimento das partes aéreas e radiculares, a expansão foliar e a eficiência fotossintética das plantas (Figuras 4-6), sendo um bom indicador para avaliar a resposta do gênero *Passiflora* ao estresse salino nesse estágio. A redução no crescimento é uma das primeiras respostas ao estresse salino, pois o acúmulo de íons Na⁺ e Cl⁻ limita a capacidade de absorção de água

pelas plantas devido aos efeitos osmóticos (Negrão *et al.*, 2017). O aumento da CEA até $6,3 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu a altura, o diâmetro do caule e o número de folhas em plantas de *P. edulis* propagadas por sementes e enxertia em função de desequilíbrios no balanço hídrico (Moura *et al.*, 2020). Reduções na biomassa aérea e radicular foram igualmente observadas por Lima *et al.* (2021a) em mudas de maracujá com 60 dias de idade sob níveis baixos de salinidade ($3,5 \text{ dS m}^{-1}$). A limitação hídrica imposta pelo aumento de íons na solução, reduz a turgescência celular que é essencial para sua divisão e alongamento, levando à redução da área foliar disponível para a fotossíntese e menor produção de matéria seca (Acosta-Motos *et al.*, 2017).

A matéria seca é um dos principais indicadores na avaliação da tolerância ou sensibilidade das plantas ao estresse salino (Fageria *et al.*, 2010; Negrão *et al.*, 2017; Qiu *et al.*, 2021; Tao *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2022). Na presente investigação, a produção de biomassa foi comprometida com o aumento do sal na solução nutritiva. As reduções da matéria seca de parte aérea e de raiz sob 9 dS m^{-1} foram superiores a 38% (mudas com 4-5 folhas) e 60% (mudas com 1-2 folhas) em comparação com seu controle (Figura 5I, J). Os decréscimos nesses parâmetros de crescimento estão associados a uma redução na fotossíntese (Moura *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2021a; Qiu *et al.*, 2021; Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2022). Isso ocorre, pois, a alta concentração de sais provoca o fechamento dos estômatos (Seymen *et al.*, 2023; Sobrinho *et al.*, 2023), reduzindo a taxa fotossintética (Lima *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2023) e, consequentemente, a translocação de fotoassimilados que resultarão em menor produção de biomassa (Lima *et al.*, 2021a; Rodrigues-Filho *et al.*, 2023).

Os efeitos da salinidade nas plantas ocorrem em duas fases: uma resposta inicial e rápida à elevada pressão osmótica na interface raiz-solo e uma resposta mais lenta devido ao acúmulo de Na^+ e/ou Cl^- nas folhas (Silvakumar *et al.*, 2020; Taiz *et al.*, 2021; Tao *et al.*, 2021; Tzortzakis *et al.*, 2022). Na fase osmótica, observa-se uma redução no crescimento da parte aérea, comprimento e volume de raiz, com diminuição da expansão foliar e inibição da formação de gemas laterais e do número de folhas (Silvakumar *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021; Rodrigues-Filho *et al.*, 2023). Na segunda fase, o acúmulo tóxico de Na^+ e/ou Cl^- nas folhas causa inibição da fotossíntese e compromete os processos biossintéticos (Lima *et al.*, 2020; Denaxa *et al.*, 2022; Sobrinho *et al.*, 2023).

Essa investigação mostrou que níveis moderados (9 dS m^{-1}) e elevados (12 a 15 dS m^{-1}) de NaCl podem causar danos osmóticos e de toxicidade iônica em mudas de *P. edulis* estressadas por 21 dias. Efeitos da primeira fase do estresse foram observados,

entre outras características, para área foliar, com reduções entre 40% e 70%, respectivamente (Figura 5F). Em relação aos efeitos tóxicos (segunda fase), o uso de uma escala de notas (1 a 5) convertida em índice de sintomas (Figura 3) mostrou que o maior acúmulo de Na^+ e Cl^- nas células do limbo foliar se deu quando a CEa foi superior a 9 dS m^{-1} , causando sintomas típicos como queimaduras, necrose e/ou murcha permanente nas folhas. Por outro lado, as plantas submetidas à menor CEa testada (3 dS m^{-1}) apresentaram sintomas de deficiência (Figuras 5G; 7A). Para maracujá-amarelo, foi demonstrado que plantas cultivadas em lisímetros com areia por três anos apresentaram queimaduras nas bordas foliares quando a condutividade da solução aumentou de 6 para 12 dS m^{-1} . As lesões foram provocadas em maior grau pela concentração de Cl^- e, em menor proporção, de Na^+ nas folhas (Ferreira *et al.*, 2022). Como em nossa pesquisa, esses autores demonstraram que os danos foliares tornam-se mais proeminentes (tóxicos) com o tempo e em níveis mais elevados de salinidade.

Independentemente do número inicial de folhas, após 21 dias de estresse salino, as plantas de *P. edulis* mostraram declínios nos parâmetros de trocas gasosas (g_s , E, A), eficiência no uso da água (EUA, iEUA) e conteúdo de clorofila (CLT), junto a um aumento do CO_2 intracelular (C_i) quando os níveis salinos foram drasticamente aumentados $\text{CEa} > 9 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 6). O fechamento estomático representa a primeira resposta fisiológica das plantas para mitigar a perda de água e prevenir a desidratação celular sob estresse salino (Lima *et al.*, 2021b; Tao *et al.*, 2021; Souto *et al.*, 2022; Seymen *et al.*, 2023). A redução na condutância estomática (g_s) resulta da menor capacidade de absorção hídrica devido à redução do potencial osmótico do solo. Essa adaptação eleva a resistência dos estômatos, reduzindo a transpiração (E) e, em consequência, a entrada de CO_2 , limitando a taxa fotossintética (A) (Figueiredo *et al.*, 2020; Shahid *et al.*, 2020; Shehzad *et al.*, 2021).

A redução da funcionalidade estomática (FES) observada neste estudo (Figura 6I) reflete essa estratégia de fechamento parcial das células-guarda (Lima *et al.*, 2020). Em contraste, o aumento do carbono interno (C_i) (Figura 6A), indica uma deterioração da estrutura fotossintética que pode estar associada a redução na atividade da enzima RuBisCO que não metaboliza adequadamente o CO_2 absorvido (Lima *et al.*, 2021b; Paiva *et al.*, 2023). Além disso, o excesso de sais pode induzir a oxigenação da RuBisCO e aumentar a via fotorrespiratória (Lima *et al.*, 2023). Comportamento similar nas respostas fisiológicas com reduções nos parâmetros de trocas gasosas sob estresse salino foram relatados em outras frutíferas (Silva *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2022; Lacerda *et al.*, 2022).

O aumento nos parâmetros de eficiência no uso da água (EUA) e eficiência intrínseca no uso da água (iEUA) indicam que a assimilação de carbono está sendo mantida até certo ponto para plantas submetidas ao estresse salino e permite que os pesquisadores infiram sua tolerância (Figueiredo *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2020; Taiz *et al.*, 2021). No entanto, reduções nessas variáveis, como demonstrado no presente estudo (Figura 6E, F), direcionam para o comprometimento das atividades fisiológicas, embora menor g_s e E também sejam estratégias usadas pelas plantas para evitar a desidratação excessiva das células (Diniz *et al.*, 2020). Resultados semelhantes para EUA e iEUA foram obtidos para diferentes culturas, inclusive o maracujazeiro em diferentes estádios e níveis de estresse salino (Diniz *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2021b; Qiu *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2023).

O aumento de sódio e cloreto à níveis tóxicos para as células também interfere na estabilidade e integridade dos cloroplastos, além de aumentar a atividade da enzima clorofilase que atua degradando as moléculas dos pigmentos fotossintéticos (Sobrinho *et al.*, 2023). De fato, o aumento do estresse aplicado ao nível crítico (9 dS m^{-1}) reduziu o conteúdo de clorofila total em 49,7 e 39,61% nas mudas de *P. edulis* com 4-5 e 1-2 folhas, respectivamente (Figura 6H), um comportamento que também foi observado na mesma espécie por Lima *et al.* (2020) e Moura *et al.* (2020) quando submetida à salinidade.

As respostas biométricas e fisiológicas em *P. edulis* estiveram mais associadas à sensibilidade dessa espécie ao estresse salino do que ao estágio de desenvolvimento no qual as plantas foram expostas, muito embora diferenças pontuais tenham sido registradas pelas análises univariadas (Figuras 4, 5, 6). Plantas com 1-2 folhas apresentaram maior variação, principalmente quanto aos caracteres de crescimento e acúmulo de biomassa nas diferentes CE testadas em relação às mudas com 4-5 folhas, que foram mais estáveis quanto aos aspectos citados (Figuras 4A-H; 5A, B; I, J).

Embora avaliadas com diferentes idades (20 e 30 dias) e números de folhas (1-2 e 4-5 folhas), as plantas de *P. edulis* estão na mesma fase ontogenética (juvenil), onde as folhas ainda não apresentam diferenciação (Figura 4M) (Cutri *et al.*, 2013; Chitwood; Otoni, 2017; Fernandes *et al.*, 2020). Há evidências, entretanto, de que ainda que estejam na mesma fase, os padrões de resposta podem ser distintos. Fernandes *et al.* (2020) realizaram um estudo espectral em folhas de *P. edulis* juvenis e adultas com 15 e 30 dias de idade e os resultados apontaram que as folhas das plantas mais jovens (15 dias) apresentam menor presença de pigmentos fotossintéticos, características bioquímicas e de absorção de água. Os autores sugerem que o intervalo que separa folhas em expansão

daquelas totalmente expandidas, é fundamental para o crescimento e desenvolvimento, aumento do conteúdo de clorofila e, conseqüentemente, ganho de biomassa em folhas de maracujá-amarelo.

No presente estudo, mudas com 1-2 folhas exibiram maiores valores de E e g_s abaixo de 12 e 15 dS m⁻¹ (Figura 6 B, C), o que pode estar relacionado à fase inicial de estabelecimento, caracterizada por desenvolvimento radicular limitado e regulação estomática reduzida pelo ácido abscísico (ABA), um regulador chave do fechamento estomático (Zhu 2002; Negrão *et al.*, 2017). Estômatos mais abertos favorecem a absorção de CO₂ e a dissipação de calor, mas também levam ao aumento da transpiração, sem garantir um aumento proporcional de A , que foi reduzida (Taiz *et al.*, 2021). Essa redução pode ser explicada pelo acúmulo de Na⁺ e Cl⁻, que afetam a fotossíntese ao inibir RuBisCO, prejudicando a regeneração de RuBP (ribulose-1,5-bisfosfato) e danificando os tilacóides (Parida; Das, 2005; Munns; Tester, 2008; Paiva *et al.*, 2023). Sob salinidade intensa, o aumento da fotorrespiração e a produção de EROs agravam ainda mais o estresse. Em contraste, sob 6 dS m⁻¹, as plantas mantiveram melhor equilíbrio iônico e desempenho fotossintético, sugerindo que esse nível ainda permite respostas compensatórias (Figueiredo *et al.*, 2020; Shahid *et al.* 2020; Shehzad *et al.* 2021).

Portanto, embora mudas com 1-2 folhas revelem com maior sensibilidade os efeitos iniciais do estresse salino, aquelas com 4-5 folhas apresentam-se estruturalmente mais desenvolvidas e apresentam tamanho adequado para plantio em campo. São mais adequadas para avaliações que visam selecionar genótipos tolerantes à salinidade. A utilização desse estágio de desenvolvimento mais avançado contribui para maior uniformidade experimental e confiabilidade dos resultados, tornando-o mais adequado para fins de padronização em programas de melhoramento.

A análise de componentes principais (PCA) pode ser usada como uma ferramenta para a seleção e discriminação de germoplasma em relação ao estresse salino (Silvakumar *et al.*, 2020; Ehtaiwesh *et al.*, 2024). Em nosso estudo, a análise de PCA revelou não haver diferenças entre os genótipos de *P. edulis* na dose crítica de NaCl selecionada (CEa: 9 dS m⁻¹) e confirmou seu efeito redutor nas características analisadas. Além disso, essa análise mostrou que as características avaliadas foram eficientes para discriminar os acessos com e sem sal (Figura 7B). Embora uma variedade de alterações morfofisiológicas indique os danos do estresse salino nas plantas, nem todos os parâmetros são úteis na triagem de tolerância ao sal (Li *et al.*, 2020; Denaxa *et al.*, 2022). Das 27 características avaliadas nessa investigação, 10 destacaram-se como importantes nas avaliações de salinidade em

mudas de maracujá-amarelo, entre elas o índice de sintomas (Figura 7F). Deste modo, a avaliação de plantas do gênero *Passiflora* poderá ocorrer por meio do uso de escala de notas, com base nos sintomas deletérios do NaCl (Figuras 3; 7A, B; F). Lima *et al.* (2020) identificaram 18 características discriminatórias (biométricas e nutricionais) para avaliação da tolerância à salinidade em *Passiflora*.

Estabelecer cultivares tolerantes ao sal é a principal abordagem para mitigar a salinidade do solo sob as mudanças climáticas globais (Huqe *et al.*, 2021). Portanto, este estudo estabelece cinco pontos importantes a serem considerados na triagem de espécies de *Passiflora*: 1) um sistema semi-hidropônico eficaz para avaliar o germoplasma sob condições controladas; 2) a seleção de uma dose limiar de 9 dS m^{-1} de NaCl capaz de causar danos mensuráveis na espécie de referência (*P. edulis*); 3) o estágio ideal de desenvolvimento da planta para avaliação do germoplasma – que independe do número de folhas – entretanto recomenda-se optar por mudas com 4-5 folhas na espécie balizadora (*P. edulis*) pela menor variação nas características associadas ao crescimento; 4) a escala de notas desenvolvida e convertida em índice de sintomas é um método eficiente para identificar danos provocados pelo NaCl em mudas de *P. edulis* e pode auxiliar na identificação entre as espécies do gênero e 5) as características ALT; DC; NF; CF; LF; IS; MSPA; MSR; VTR e *gs* são importantes para avaliação e discriminação da tolerância à salinidade entre *Passiflora* spp..

5 CONCLUSÃO

Os genótipos de *P. edulis* são afetados quanto aos aspectos biométricos e fisiológicos quando a condutividade elétrica da solução nutritiva + NaCl atinge 9 dS m^{-1} independentemente da fase de crescimento, embora mudas com 30 dias de idade (com 4-5 folhas definitivas) apresentem maior uniformidade nas respostas, tornando-se, respectivamente, a CEa limiar e a fase do desenvolvimento ideais para avaliação rápida da tolerância em *Passiflora*. Sob condições semi-hidropônicas os efeitos deletérios da salinidade são evidenciados a partir dos 14 dias após o início do estresse, com maiores diferenças aos 21 dias. Sob esta concentração limiar (9 dS m^{-1}) não houve diferenças entre os genótipos de *P. edulis* avaliados. O uso da metodologia de escala de notas é recomendado para auxiliar na avaliação e identificação de *Passiflora* spp. tolerantes a salinidade, uma vez que o aumento dos índices resultou em decréscimos da eficiência fisiológica das plantas. Além disso, as análises de PCA indicaram que nove características

biométricas e uma fisiológica podem ser utilizadas como indicadores de tolerância e discriminação dos genótipos ao estresse salino.

REFERÊNCIAS

- Acosta-Motos, J.R., Ortuño, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M.J., Hernandez, J.A., 2017. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7, 1, 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>.
- Alam, M.S., Tester, M., Fiene, G., Mousa, M.A.A., 2021. Early growth stage characterization and the biochemical responses for salinity stress in tomato. *Plants*, 10, 4, 712. <https://doi.org/10.3390/plants10040712>.
- Alfosea-Simón, M., Zavala-Gonzalez, E.A., Camara-Zapata, J.M., Martínez-Nicolás, J.J., Simón, I., Simón-Grao, S., García-Sánchez, F., 2020. Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 272, 109509. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109509>.
- Andrade, J.R., Sousa Medeiros, A., Maia Júnior, S.D.O., Paula Rezende, L., Araújo Neto, J.C., 2018. Germination and morphophysiology of passion fruit seedlings under salt water irrigation1. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48, 229-236. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4852710>.
- 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., 2023. Impacts of salinity stress on crop plants: Improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1241736. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>.
- Bezerra, M.A., Cavalcante, L.F., Bezerra, F.T., Silva, A.R., Oliveira, F.F., Medeiros, S.A., 2019. Saline water, pit coating and calcium fertilization on chlorophyll, fluorescence, gas exchange and production in passion fruit. *Journal of Agricultural Science*, 11, 2, 319. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n2p319>.
- Bogoutdinova, L.R., Khaliluev, M.R., Chaban, I.A., Gulevich, A.A., Shelepova, O.V., Baranova, E.N., 2024. Salt tolerance assessment of different tomato varieties at the seedling stage. *Horticulturae*, 10, 6, 598. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060598>.
- Brasil., 2009. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de defesa agropecuária. Regras para análise de sementes. Available at: <https://11nk.dev/jTjO3>.
- Chaudhary, M.T., Majeed, S., Rana, I.A. Ali, Z., Jia, Y., Du, X., Hinze, L., Azhar, M.T., 2024. Impact of salinity stress on cotton and opportunities for improvement through conventional and biotechnological approaches. *BMC Plant Biology*, 24, 20. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04558-4>.
- Chaudhry, S., Sidhu, G.P.S., 2022. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. *Plant Cell Reports*, 41, 1, 1-31. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5>.
- Chen, Y.L., Dunbabin, V.M., Diggle, A.J., Siddique, K.H., Rengel, Z., 2011. Development of a novel semi-hydroponic phenotyping system for studying root architecture. *Functional Plant Biology*, 38, 5, 355-363. <https://doi.org/10.1071/FP10241>.

- Chitwood, D.H., Otoni, W.C., 2017. Divergent leaf shapes among *Passiflora* species arise from a shared juvenile morphology. *Plant Direct*, 1, 5, e00028. <https://doi.org/10.1002/pld3.28>.
- Cutri, L., Nave, N., Ami, M.B., Chayut, N., Samach, A., Dornelas, M.C., 2013. Evolutionary, genetic, environmental and hormonal-induced plasticity in the fate of organs arising from axillary meristems in *Passiflora* spp. *Mechanisms of development*, 130, 1, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.mod.2012.05.006>.
- Denaxa, N.K., Nomikou, A., Malamos, N., Liveri, E., Roussos, P.A., Papasotiropoulos, V., 2022. Salinity effect on plant growth parameters and fruit bioactive compounds of two strawberry cultivars, coupled with environmental conditions monitoring. *Agronomy*, 12, 10, 2279. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102279>.
- Diniz, G.L., Nobre, R.G., Lima, G.S.D., Souza, L.D.P., Gheyi, H.R., Medeiros, M.N.D., 2020. Physiological indices and growth of ‘Gigante Amarelo’ passion fruit under salt stress and silicate fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24, 12, 814-821. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p814-821>.
- Ehtaiwesh, A., Sunoj, V.S.J., Djanaguiraman, M., Prasad, P.V.V., 2024. Response of winter wheat genotypes to salinity stress under controlled environments. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1396498. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1396498>.
- El Moukhtari, A., Cabassa-Hourton, C., Farissi, M., Savouré, A., 2020. How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development?. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1127. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01127>.
- El Sabagh, A., Islam, M.S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar Hossain, M., Arshad, A., 2021. Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and management strategies. *Frontiers in Agronomy*, 3, 661932. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.661932>.
- Fageria, N.K., Soares Filho, W., Gheyi, H.R., 2010. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Ghey, H.R., Dias, N.S., Lacerda, C.F. (Eds.) *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. p.130-141.
- Fernandes, A.M., Fortini, E.A., de Carvalho Müller, L.A., Batista, D.S., Vieira, L.M., Silva, P.O., do Amaral, C.H., Poetiche, R.S., Otoni, W.C., 2020. Leaf development stages and ontogenetic changes in passionfruit (*Passiflora edulis* Sims) are detected by narrowband spectral signal. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 209, 111931. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111931>.
- Ferreira, J.F.S., Liu, X., Suddarth, S.R.P., Nguyen, C., Sandhu, D., 2022. NaCl accumulation, shoot biomass, antioxidant capacity, and gene expression of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. in response to irrigation waters of moderate to high salinity. *Agriculture*, 12, 1856. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111856>.
- Figueiredo, F.R.A., Nóbrega, J.S., Fátima, R.T., Ferreira, J.T.A., Pereira, M.B., Lopes, M.D.F.D. Q., Pereira, W.E., Albuquerque, M.B., 2020. Morphophysiology of yellow passion fruit seedlings under application of nitrogen and potassium and irrigation with high-salinity water. *Semina: Ciências Agrárias*, 41, 189. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5Supl1p1897>.

Gheyi, H.R., Sandhu, D., Lacerda, C.F., 2023. Fields of the Future: pivotal role of biosaline agriculture in farming. *Agriculture*, 13, 9, 1774. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091774>.

Huqe, M.A.S., Haque, M.S., Sagar, A., Uddin, M.N., Hossain, M.A., Hossain, A.Z., Rahman, M.M., Wang, X., Al-Ashkar, I., Ueda, A., El Sabagh, A., 2021. Characterization of maize hybrids (*Zea mays* L.) for detecting salt tolerance based on morpho-physiological characteristics, ion accumulation and genetic variability at early vegetative stage. *Plants*, 10, 2549. <https://doi.org/10.3390/plants10112549>.

IBGE., 2024. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de recuperação automática -Sidra. Produção agrícola municipal: produção de maracujá no ano de 2023. Available at: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Accessed 20 Nov. 2024.

Lacerda, C.N., Soares, G.S., Soares, L.A.A., Fatima, R.T., Gheyi, H.R., Azevedo, C.A.V., 2022. Morphophysiology and production of guava as a function of water salinity and salicylic acid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26, 451-458. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n6p451-458>.

Li, W., Zhang, H., Zeng, Y., Xiang, L., Lei, Z., Huang, Q., Li, T., Shen, F., Cheng, Q., 2020. A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus* L.) at the seed germination stage. *Scientific Reports*, 10, 1, 10626. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67210-3>.

Lima, G.S., Soares, M.G.S., Soares, L.A.A., Gheyi, H.R., Pinheiro, F.W., Silva, J.B.D., 2021a. Potassium and irrigation water salinity on the formation of sour passion fruit seedlings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25, 6, 393-401. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n6p393-401>.

Lima, G.S., Andrade, J.N.F., Medeiros, M.N.V., Soares, L.A.A., Gheyi, H.R., Nobre, R.G., Fernandes, P.D., Lacerda, C.N., 2021b. Gas exchange, growth, and quality of passion fruit seedlings cultivated with saline water. *Semina: Ciências Agrárias*, 42, 1, 137-154. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n1p137>.

Lima, G.S., Pinheiro, F.W., Gheyi, H.R., Soares, L.A.A., Sousa, P.F.N., Fernandes, P.D., 2022. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26, 3, 180-189. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p180-189>.

Lima, G.S., Silva, A.A.R., Torres, R.A.F., Soares, L.A.A., Gheyi, H.R., Silva, F.A., Lima, V.L.A., 2023. NPK accumulation, physiology and production of sour passion fruit under salt stress irrigated with brackish water in the phenological stages and K fertilization. *Plants*, 12, 7, 1573. <https://doi.org/10.3390/plants12071573>.

Lima, L.K.S., Jesus, O.N., Soares, T.L., Santos, I.S., Oliveira, E.J., Coelho Filho, M.A., 2020. Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 263, 109037. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109037>.

Marques, I.C.S., Rodrigues, J.D., Ono, E.O., Silva, D.M.R., Bispo, G.L., Oliveira, F.A., 2024. Protective effect of nitric oxide on lettuce plants subjected to salt stress in semi-hydroponic system. *Acta Physiologiae Plantarum*, 46, 2, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03645-1>.

- McKinney, H.H., 1923. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. Journal of Agricultural Research, 26, 195-218.
- Mi, J., Ren, X., Shi, J., Wang, F., Wang, Q., Pang, H., Kang, L., Wang, C., 2024. An insight into the different responses to salt stress in growth characteristics of two legume species during seedling growth. Frontiers in Plant Science, 14, 1342219. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1342219>.
- Moura, R.D.S., Soares, T.L., Lima, L.K.S., Gheyi, H.R., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A., 2020. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of *Passiflora edulis* Sims plants propagated by different methods. Archives of Agronomy and Soil Science, 66, 1692-1706. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1688789>.
- Moura, R.S., Soares, T.L., Lima, L.K.S., Gheyi, H.R., Dias, E.A., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A., 2021. Effects of salinity on growth, physiological and anatomical traits of *Passiflora* species propagated from seeds and cuttings. Brazilian Journal of Botany, 44, 17-32. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00675-8>.
- Munawar, W., Hameed, A., Khan, M.K.R., 2021. Differential morphophysiological and biochemical responses of cotton genotypes under various salinity stress levels during early growth stage. Frontiers in Plant Science, 12, 622309. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.622309>.
- Negrão, S., Schmöckel, S.M., Tester, M.J.A.O.B., 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Annals of botany, 119, 1, 1-11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>.
- Paiva, F.J.S., Lima, G.S., Lima, V.L.A., Souza, W.B.B., Soares, L.A.A., Torres, R.A.F., Gheyi, H.R., Silva, L.A., Sá, F.V.S., Sá, V.K.N.O., Silva, S.T.A., Fátima, R.T., Fernandes, P.D., Almeida, A.K.C., 2023. The effects of irrigation water salinity on the synthesis of photosynthetic pigments, gas exchange, and photochemical efficiency of sour passion fruit genotypes. Plants, 12, 22, 3894. <https://doi.org/10.3390/plants12223894>.
- Pathoumthong, P., Zhang, Z., Roy, S.J., El Habti, A., 2023. Rapid non-destructive method to phenotype stomatal traits. Plant Methods, 19, 1, 36. <https://doi.org/10.1186/s13007-023-01016-y>.
- Pavli, O.I., Foti, C., Skoufogianni, G., Karastergiou, G., Panagou, A., Khah, E.M., 2021. Effect of salinity on seed germination and seedling development of soybean genotypes. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 27, 2, 556210. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2021.27.556210>.
- Pinheiro, F.W.A., Lima, G.S., Gheyi, H.R., Soares, L.A.A., Nobre, R.G., Fernandes, P.D., 2022. Brackish water irrigation strategies and potassium fertilization in the cultivation of yellow passion fruit. Ciência e Agrotecnologia, 46, e022621. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202246022621>.
- Pour-Aboughadareh, A., Mehrvar, M.R., Sanjani, S., Amini, A., Nikkhah-Chamanabad, H., Asadi, H., 2021. Effects of salinity stress on seedling biomass, physiochemical properties, and grain yield in different breeding wheat genotypes. Acta Physiologiae Plantarum, 43, 98. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03265-7>.
- Qiao, S., Fang, Y., Wu, A., Xu, B., Zhang, S., Deng, X., Chen, Y., 2019. Dissecting root trait variability in maize genotypes using the semi-hydroponic phenotyping platform. Plant and Soil, 439, 75-90. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3803-6>.

Qiu, Y., Fan, Y., Chen, Y., Hao, X., Li, S., Kang, S., 2021. Response of dry matter and water use efficiency of alfalfa to water and salinity stress in arid and semiarid regions of Northwest China. *Agricultural Water Management*, 254, 106934. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106934>.

R Development Core Team., 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.r-project.org/>.

Raggi, L., Caproni, L., Ciancaleoni, S., D'Amato, R., Businelli, D., Negri, V., 2024. Investigating the genetic basis of salt-tolerance in common bean: a genome-wide association study at the early vegetative stage. *Scientific Reports*, 14, 1, 5315. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55403-z>.

Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.net/ij/>, 1997-2018.

Rodrigues-Filho, R.A., Nobre, R.G., Santos, A.S., Teixeira, A.D.S., Ferreira, A.P.N., Soares, L.A.A., Lima, G.S., Guedes, W.A., Vasconcelos, E.S., Silva, L.A., Araújo, K.F.P., 2023. Morphology of 'Crioula' guava seedlings under irrigation with increasing salinity water and nitrogen/potassium fertilization. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e275322. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.275322>.

Santos, A.S., Amorim, E.P., Almeida, A.A.F., Ferreira, C.F., Coelho Filho, M.A., Pirovani, C.P., 2020. Diversity of banana diploid hybrids: An assessment based on a hydroponic system. *Plant breeding*, 139, 6, 1251-1265. <https://doi.org/10.1111/pbr.12869>.

Santos, S.T., Oliveira, F.D.A., Oliveira, G.B.S., Oliveira, M.K.T., Alves, A.S., Cordelro, C.J.X., Oliveira, C.E.A., 2023. Tolerance of basil cultivars to salt stress in semi-hydroponic cultivation. *Comunicata Scientiae*, 14, 1-10. <https://doi.org/10.14295/cs.v14.3429>.

Santos IS, Jesus ON, Sampaio SR, Gonçalves ZS, Soares TL, Santana Ferreira JR, Lima LKS (2024) Salt tolerance strategy in passion fruit genotypes during germination and seedling growth and spectrophotometric quantification of hydrogen peroxide (H₂O₂). *Sci. Hortic.* 338: 113818. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113818>

Seymen, M., Yavuz, D., Eroğlu, S., Arı, B.C., Tanrıverdi, Ö.B., Atakul, Z., Issı, N., 2023. Effects of different levels of water salinity on plant growth, biochemical content, and photosynthetic activity in cabbage seedling under water-deficit conditions. *Gesunde Pflanzen*, 75, 871-884. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00788-y>.

Shahid, M. A., Sarkhosh, A., Khan, N., Balal, R. M., Ali, S., Rossi, L., Gómez, C., Mattson, N., Nasim, W., Garcia-Sanchez, F., 2020. Insights into the physiological and biochemical impacts of salt stress on plant growth and development. *Agronomy*, 10, 7, 938. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070938>.

Shehzad, M., Gul, R.S., Rauf, S., Clarindo, W.R., Al-khayri, J.M., Hussain., Ghaffari, M., Nazir, S., Hussain, M., 2021. Development of a robust hydroponic method for screening of sunflower (*Helianthus annuus* L.) accessions for tolerance to heat and osmotic stress. *Scientific Reports*, 11, 1677. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81072-3>.

Silva, A.A.R., Lima, G.S., Azevedo, C.A.V., Gheyi, H.R., Soares, L.A.A., Veloso, L.L.S.A., 2022. Salicylic acid improves physiological indicators of soursop irrigated with

saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26, 412-419. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n6p412-419>.

Silva, A.F., Sousa, V.F.D.O., Santos, G.L., Júnior, E.S.A., Silva, S.L., Macedo, C.E., Maia, J.M., 2018. Antioxidant protection of photosynthesis in two cashew progenies under salt stress. *Journal of Agricultural Science*, 10, 388-404. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n10p388>.

Silva, G.S., Souza, M.M., 2020. Origin of the cultivated passion fruit *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* and genomic relationships among species of the subgenera *Decaloba* and *Passiflora*. *Plant Biology*, 22, 3, 533-540. <https://doi.org/10.1111/plb.13100>.

Singh, R.B., Rao, V.P., Sengar, R.S., 2023. Study of salinity induced oxidative stress and antioxidant responses in callus cultures of sugarcane. *Ecological Genetics and Genomics*, 26, 100164. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2023.100164>.

Sivakumar, J., Prashanth, J.E.P., Rajesh, N., Reddy, S.M., Pinjari, O.B., 2020. Principal component analysis approach for comprehensive screening of salt stress-tolerant tomato germplasm at the seedling stage. *Journal of biosciences*, 45, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12038-020-00111-9>.

Sobrinho, T.G., da Silva, A.A.R., de Lima, G.S., de Lima, V.L.A., Borges, V.E., Nunes, K.G., Soares, L.A.A., Saboya, L.M.F., Gheyi, H.R., Gomes, J.P., Fernandes, P.D., de Azevedo, C.A.V., 2023. Foliar applications of salicylic acid on boosting salt stress tolerance in sour passion fruit in two cropping cycles. *Plants*, 12, 10. <https://doi.org/10.3390/plants12102023>.

Souto, L.A.G., Cavalcante, L.F., Melo, E.N., Cavalcante, Í.H.L., Silva, R.Í.L., Lima, G.S., Oliveira Mesquita, F., 2023. Salinity and mulching effects on nutrition and production of grafted sour passion fruit. *Plants*, 12, 1035. <https://doi.org/10.3390/plants12051035>.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A., 2021. *Fundamentos de Fisiologia Vegetal*, six ed. Artmed, Porto Alegre.

Tao, R., Ding, J., Li, C., Zhu, X., Guo, W., Zhu, M., 2021. Evaluating and Screening of Agro-Physiological Indices for Salinity Stress Tolerance in Wheat at the Seedling Stage. *Frontiers in Plant Science*, 12, 646175. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646175>.

Tlahig, S., Bellani, L., Karmous, I., Barbieri, F., Loumerem, M., Muccifora, S., 2021. Response to salinity in legume species: An insight on the effects of salt stress during seed germination and seedling growth. *Chemistry & Biodiversity*, 18, e2000917. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000917>.

Tomar, R.S., Kataria, S., Jajoo, A., 2021. Behind the scene: Critical role of reactive oxygen species and reactive nitrogen species in salt stress tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207, 4, 577-588. <https://doi.org/10.1111/jac.12490>.

Tzortzakis, N., Pitsikoulaki, G., Stamatakis, A., Chrysargyris, A., 2022. Ammonium to total nitrogen ratio interactive effects with salinity application on *Solanum lycopersicum* growth, physiology, and fruit storage in a closed hydroponic system. *Agronomy*, 12, 2, 386. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020386>.

CAPÍTULO 3

IDENTIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Passiflora* TOLERANTES À SALINIDADE ATRAVÉS DE INDICADORES MORFOFISIOLÓGICOS EM SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO¹

¹ Artigo a ser traduzido e submetido para o comitê editorial do periódico (a ser definido).

RESUMO

O maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) é socioeconomicamente importante para o Brasil, porém sensível à salinidade e não há cultivares tolerantes. A variabilidade genética é um recurso essencial para o melhoramento da cultura. Assim, avaliou-se 86 acessos do banco de germoplasma visando identificar genótipos tolerantes na fase de muda em sistema hidropônico. As mudas foram submetidas a dois níveis de condutividade elétrica 2 dS m⁻¹ (controle) e 9 dS m⁻¹ (tratamento salino) por 21 dias. Foram usados diferentes indicadores morfofisiológicos (crescimento, clorofila e acúmulo de biomassa), análise nutricional foliar (K⁺ e Na⁺) e sintomatológicos (índice de sintomas - IS). Independentemente dos acessos avaliados, o estresse salino impactou o crescimento e acúmulo de biomassa, K⁺ e razão K⁺/Na⁺ com reduções entre 12 e 73,5%, além de aumento (36,0 a 62,3%) no índice médio de sintomas (IS) e no acúmulo de Na⁺. A análise de agrupamento revelou ampla variabilidade entre os genótipos, categorizando-os em cinco grupos distintos. O G1, composto por 19 acessos e 13 espécies, dos quais seis acessos das espécies *P. mucronata*, *P. cincinnata*, *P. edulis*, *P. alata*, *P. rubra* e *Passiflora* sp. se destacaram por reunirem altos índices de estabilidade de rendimento - IER (> 0,80) para as variáveis morfofisiológicas e baixos IS (< 10%) sendo considerados tolerantes. O IS demonstrou ser um indicador prático de tolerância ao sal, distinguindo plantas assintomáticas das muito sensíveis, porém deve ser associado a outros parâmetros de seleção. A razão K⁺/Na⁺ variou expressivamente entre os acessos (0,38 a 7,27), com os maiores valores >1,52 para acessos das espécies silvestres. Em conjunto, 22 acessos alocados nos grupos tolerantes e moderadamente tolerantes para os caracteres morfofisiológicos e IS, apresentaram maior acúmulo de K⁺ nos tecidos vegetais e são pertencentes a 13 *Passiflora* spp. O estudo confirmou a existência de ampla variabilidade interespecífica para salinidade em *Passiflora* e revelou acessos tolerantes também dentro de espécies cultivadas, como *P. edulis* e *P. alata*, com potencial de uso imediato em programas de melhoramento. Os resultados reforçam o potencial dos genótipos tolerantes como fontes genéticas para cruzamentos intra e interespecíficos e/ou uso como porta-enxertos, contribuindo para o desenvolvimento de híbridos e cultivares tolerantes para uso em ambientes salinos.

Palavras-chave: Variabilidade fenotípica. Mudanças climáticas. NaCl. Seleção fenotípica. K⁺/Na⁺. Resiliência.

ABSTRACT

Passion fruit – *Passiflora edulis* Sims is socioeconomically important for Brazil, yet it is sensitive to salinity, and no tolerant cultivars are currently available. Genetic variability is an essential resource for crop improvement. In this context, 86 accessions from the germplasm bank were evaluated to identify salt-tolerant genotypes during the seedling stage under a semi-hydroponic system. The seedlings were subjected to two electrical conductivity levels: 2 dS m⁻¹ (control) and 9 dS m⁻¹ (saline treatment) for 21 days. Different morphophysiological indicators (growth, chlorophyll content, and biomass accumulation), foliar nutritional analysis (K⁺ and Na⁺), and symptom-based evaluation (symptom index – SI) were used. Regardless of the accession, salt stress negatively affected growth, biomass accumulation, K⁺ content, and K⁺/Na⁺ ratio, with reductions ranging from 12% to 73.5%, along with an increase in the mean symptom index (36.0% to 62.3%) and Na⁺ accumulation. Cluster analysis revealed wide variability among genotypes, grouping them into five distinct clusters. Group 1 (G1), composed of 19 accessions from 13 species, included six accessions from *P. mucronata*, *P. cincinnata*, *P. edulis*, *P. alata*, *P. rubra*, and *Passiflora* sp., which stood out for exhibiting high yield stability index (YSI > 0.80) for morphophysiological traits and low SI (< 10%), thus being considered tolerant. The SI proved to be a practical indicator of salt tolerance, distinguishing asymptomatic plants from highly sensitive ones, but it should be used in combination with other selection parameters. The K⁺/Na⁺ ratio varied widely among accessions (0.38 to 7.27), with the highest values (> 1.52) observed in wild species. Altogether, 22 accessions classified as tolerant or moderately tolerant based on morphophysiological traits and SI showed higher K⁺ accumulation in plant tissues and belonged to 13 different *Passiflora* species. The study confirmed the existence of broad interspecific variability for salinity tolerance in *Passiflora* and identified tolerant accessions even within cultivated species, such as *P. edulis* and *P. alata*, with potential for immediate use in breeding programs. The results reinforce the potential of tolerant genotypes as genetic sources for intraspecific and interspecific crosses and/or as rootstocks, contributing to the development of hybrids and cultivars with tolerance for cultivation in saline environments.

Keywords Phenotypic variability; Climate change; NaCl; Phenotypic selection; K⁺/Na⁺ ratio; Resilience.

1 INTRODUÇÃO

O maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) é uma cultura de grande importância social e econômica, amplamente cultivada em todo o mundo para a produção de frutos (especialmente os de casca amarela) destinados tanto para o consumo *in natura* quanto para a indústria de sucos concentrados (Jesus *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2024a).

No Brasil, maior produtor e consumidor dessa frutífera, os principais polos produtores estão concentrados na região Nordeste, mais precisamente no semiárido baiano (IBGE, 2024), onde predominam baixos índices pluviométricos; temperatura e evapotranspiração elevadas. Nesses contextos, o uso de águas de baixa qualidade (salobra) tem se tornado uma prática inevitável (Phogat *et al.*, 2018; Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Gheyi *et al.*, 2023). Esses fatores contribuem para o aumento da concentração de sais na água e no solo, afetando diretamente a formação das mudas e o estabelecimento da cultura em campo (Bezerra *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2021a, b), especialmente considerando que *P. edulis* é reconhecidamente sensível à salinidade (Lima *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2023; Souto *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2024b).

A salinidade é um dos principais fatores de estresse abiótico que comprometem a produtividade agrícola em regiões tropicais e semiáridas (Hassani *et al.*, 2021; Gheyi *et al.*, 2023). O acúmulo de sais afeta a estrutura do solo, limitando o fluxo de água e ar para as raízes (Kramer; Peleg; Mau, 2025), e impacta negativamente o crescimento de diversas espécies vegetais (Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Alam *et al.*, 2021; Tao *et al.*, 2021; Gheyi *et al.*, 2023). O estresse se manifesta por meio de efeitos osmóticos, toxidez iônica e desequilíbrio nutricional, especialmente relacionados ao acúmulo de Na^+ e Cl^- , que comprometem a fotossíntese, o desenvolvimento da planta e, por consequência, o rendimento e produção de frutos (Moura *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2025).

Esse cenário tende a se agravar diante das mudanças climáticas, que intensificam a salinização dos solos, sobretudo em regiões com escassez hídrica, como no semiárido (Corwin, 2020; FAO, 2025). No Brasil, há simulações que preveem aumento na ordem de 15% (Hassani; Azapagic; Shokri, 2021), tendência já observada em áreas irrigadas do semiárido nordestino (Pessoa *et al.*, 2022; Gheyi *et al.*, 2023). Diante dessa rápida expansão e da limitação das cultivares comerciais, que não toleram condutividades elétricas superiores a 4 dS m^{-1} (Ferreira *et al.*, 2022; Galvão Sobrinho *et al.*, 2023), torna-se urgente desenvolver estratégias que assegurem a viabilidade econômica da cultura em ambientes salinizados.

A seleção de genótipos tolerantes é uma das alternativas mais promissoras para mitigar os efeitos da salinidade nos cultivos de maracujá (Lima *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2022; Souto *et al.*, 2023). Para isso, diferentes indicadores têm sido utilizados para avaliar a tolerância das plantas, incluindo características morfofisiológicas, nutricionais, bioquímicas e genéticas (Naheed *et al.*, 2021; Denaxa *et al.*, 2022; Rodrigues-Filho *et al.*, 2023; Luo *et al.*, 2025). Entre os mais relevantes estão o crescimento relativo, o acúmulo de biomassa, a razão K^+/Na^+ e a integridade fisiológica das células. Esses parâmetros refletem a capacidade da planta em manter sua fisiologia e equilíbrio iônico sob salinidade (Dasgan *et al.*, 2002; Munns; Tester, 2015; Garriga *et al.*, 2015; Sivakumar *et al.*, 2020; Tao *et al.*, 2021; Raggi *et al.*, 2024). A avaliação de características morfofisiológicas em estádios iniciais de desenvolvimento tem sido cada vez mais defendida como uma abordagem rápida e de baixo custo para pré-seleção de genótipos tolerantes, reduzindo o tempo necessário em programas de melhoramento (Santos *et al.*, 2025).

Além disso, com o objetivo de integrar múltiplas variáveis e facilitar a seleção de materiais superiores, diversos índices de tolerância têm sido propostos (Fageria *et al.*, 2010; Alam *et al.*, 2021; Anshori *et al.*, 2021; Choudhary *et al.*, 2021; Tao *et al.*, 2021; Roshdy *et al.*, 2021; Ebrahim *et al.*, 2022; Khalil *et al.*, 2022). O uso combinado desses índices com ferramentas multivariadas, como agrupamentos hierárquicos e análises de similaridade e correlação, permite uma avaliação mais abrangente e precisa do desempenho dos genótipos frente ao estresse salino (Sivakumar *et al.*, 2020; Alam *et al.*, 2021; Anshori *et al.*, 2021; Denaxa *et al.*, 2022), viabilizando a identificação de recursos genéticos com desempenho superior em condições adversas.

Nesse contexto, foi desenvolvido um sistema hidropônico adaptado para a triagem de *Passiflora*, no qual foram estabelecidos parâmetros como a dose limiar de NaCl, o tempo ideal de exposição e as variáveis-chave para seleção de genótipos mais tolerantes (Santos *et al.*, 2025). O uso do banco de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, um dos mais diversos do mundo, com mais de 377 acessos catalogados, representa uma oportunidade estratégica para identificar materiais superiores, dada a variabilidade intra e interespecífica existente no gênero *Passiflora* (Alelo Vegetal, 2025).

Estudos mais recentes já indicaram a existência de espécies silvestres tolerantes, como *P. mucronata* Lam. (Lima *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2024b) e *P. gibertii* N.E.Br. (Santos *et al.*, 2024b), entretanto, com número restrito de acessos avaliados. Assim, a presente investigação tem como objetivo realizar a primeira triagem ampla de acessos de

Passiflora spp. sob estresse salino, visando a identificação de genótipos mais tolerantes. Essa abordagem poderá subsidiar o desenvolvimento de cultivares de maracujá com tolerância às condições do semiárido, promovendo sustentabilidade, produtividade e segurança para agricultores que enfrentam os desafios crescentes da salinização.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Condições experimentais

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação por um período de 12 meses entre março de 2022 e fevereiro de 2023 na Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil (12° 40' S, 39° 06' W, 226 m). Os períodos de avaliação foram divididos por lotes (L1 a L3). A temperatura média do ar variou de 25,6 a 29,1 °C e a umidade relativa média do ar de 74,2 a 84,9% entre os lotes avaliados (Figura 1).

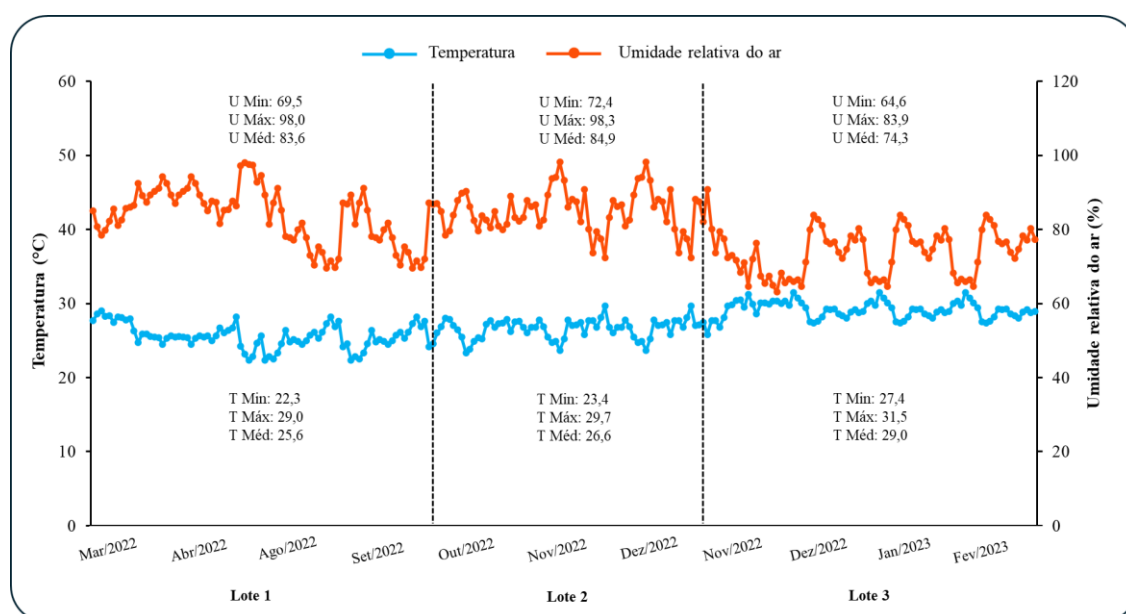


Figura 1. Dados médios diários de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) coletados na unidade experimental. As linhas tracejadas (----) delimitam os períodos de avaliação, bem como os dados mínimos (Mín), máximos (Máx) e médios (Méd) de temperatura (T) e umidade (U) para cada lote (L1 a L3) avaliado.

2.2 Material vegetal utilizado

Foram avaliados 86 acessos e 32 espécies de *Passiflora* pertencentes à coleção do Banco de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Destes, 18 acessos foram da espécie *P. edulis*; 12 *Passiflora alata* Curtis; 09 *Passiflora cincinnata* Mast.; 03 *Passiflora gibertii* N.E.Br.; 03 *Passiflora suberosa* L.; 03 *Passiflora amethystina*

J.C.Mikan; 03 *Passiflora* sp.; 02 *Passiflora setacea* DC.; 02 *Passiflora mucronata* Lam.; 02 *Passiflora morifolia* Mast.; 02 *Passiflora kermesina* Link & Otto; 02 *Passiflora foetida* L.; 02 *Passiflora actinia* Hooker e 01 para *Passiflora bahiensis* Klotzsch; *Passiflora caerulea* L.; *Passiflora edmundoi* Sacco; *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims; *Passiflora faleiroi* Imig; *Passiflora junqueirae* Imig & Cervi; *Passiflora mallacophylla* Mast.; *Passiflora misera* Kunth; *Passiflora pohlii* Mast.; *Passiflora porophylla* Vell.; *Passiflora quadrangularis* L.; *Passiflora rubra* L.; *Passiflora silvestris* Vell.; *Passiflora subrotunda* Mast.; *Passiflora trintae* Sacco; *Passiflora watsoniana* Mast. Adicionalmente, avaliou-se 06 híbridos intraespecíficos: 03 *Passiflora porophylla* Vell. x *Passiflora porophylla* Vell.; 02 *Passiflora alata* Curtis x *Passiflora alata* Curtis; 01 *Passiflora junqueirae* Imig & Cervi x *Passiflora junqueirae* Imig & Cervi e 01 de *Passiflora miersii* Mast. x *Passiflora miersii* Mast. (Tabela 1).

O acesso BGP190 (*P. edulis*), selecionado no capítulo anterior, representou o tratamento controle, presente nos três lotes de avaliação. O conjunto de acessos que representou cada lote, bem como o período de avaliação e o domínio fitogeográfico de ocorrência das espécies de acordo com os registros da Flora e Funga do Brasil (Bernacci *et al.*, 2024), estão apresentados na Tabela 1. A representação fenotípica da variabilidade avaliada consta na Figura 2.

Tabela 1. Lista dos 86 acessos de *Passiflora* spp. pertencentes ao Banco de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Nº	Código	Espécie	Domínios fitogeográficos ¹	Lote
1	BGP008	<i>P. gibertii</i>	Ce.	1
2	BGP318	<i>P. morifolia</i>	Ce., M.A.	1
3	BGP421	<i>P. cincinnata</i>	Ca., Ce., M.A., Am.	1
4	BGP449	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	1
5	BGP450	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	1
6	BGP454	<i>P. pohlii</i>	Ce., M.A., Pan.	1
7	BGP505	<i>P. amethystine</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pan.	1
8	BGP003	<i>P. setácea</i>	Ca., Ce., M.A.	1
9	BGP396	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	M.A.	1
10	BGP114	<i>P. mucronata</i>	Ca., Ce., M.A. (restinga)	1
11	BGP125	<i>P. rubra</i>	M.A.	1
12	BGP152	<i>P. suberosa</i>	Am., Ca., Ce., M.A.	1
13	BGP460	<i>Passiflora</i> sp.	-	1
14	BGP006	<i>P. setácea</i>	Ca., Ce., M.A.	1
15	BGP010	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	1
16	BGP346	<i>P. cincinnata</i>	Ca., Ce., M.A., Am.	1
17	BGP480	<i>P. cincinnata</i>	Ca., Ce., M.A., Am.	1
18	BGP300	<i>P. cincinnata</i>	Ca., Ce., M.A., Am.	1
19	BGP015	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	1
20	BGP019	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	1
21	FB200	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	1
22	FB300	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	1
23	BGP463	<i>P. watsoniana</i>	M.A.	2

24	BGP496	<i>Passiflora</i> sp.	-	2
25	BGP107	<i>P. morifolia</i>	Ce., M.A.	2
26	BGP157	<i>P. quadrangularis</i>	Am., M.A.	2
27	BGP243	<i>P. cincinnata</i>	Ca., Ce., M.A., Am.	2
28	BGP276	<i>P. cincinnata</i>	Ca., Ce., M.A., Am.	2
29	BGP414	<i>P. gibertii</i>	Ce.	2
30	BGP021	<i>Passiflora</i> sp.	-	2
31	BGP508	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	2
32	H09-167	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	2
33	H09-168	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	2
34	BGP026	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	2
35	BGP027	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	2
36	BGP035	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	2
37	BGP036	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	2
38	BRS-GA	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	2
39	BGP478	<i>P. silvestres</i>	Ce., M.A. (restinga)	2
40	BGP498	<i>P. amethystine</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pan.	2
41	OTH-157	<i>P. alata</i> x <i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	2
42	BGP162	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	2
43	BGP322	<i>P. cincinnata</i>	Ca., Ce., M.A., Am.	2
44	BGP438	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	2
45	BGP477	<i>P. bahiensis</i>	Ca., M.A.	2
46	BGP042	<i>P. cincinnata</i>	Ca., Ce., M.A., Am.	2
47	BGP497	<i>P. porophylla</i> x <i>P. porophylla</i>	Ce., M.A.	2
48	OTH-156	<i>P. alata</i> x <i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	3
49	BGP004	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	3
50	BGP013	<i>P. suberosa</i>	Am., Ca., Ce., M.A.	3
51	BGP235	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	3
52	BGP393	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	3
53	BGP479	<i>P. mucronata</i>	Ca., Ce., M.A. (restinga)	3
54	BGP045	<i>P. porophylla</i> x <i>P. porophylla</i>	Ce., M.A.	3
55	BGP050	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	3
56	BGP418	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	3
57	BGP424	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	3
58	BGP427	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	3
59	BGP436	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	3
60	BGP052	<i>P. junqueirae</i>	M.A.	3
61	BGP054	<i>P. porophylla</i>	Ce., M.A.	3
62	BGP014	<i>P. suberosa</i>	Am., Ca., Ce., M.A.	3
63	BGP085	<i>P. gibertii</i>	Ce.	3
64	BGP423	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	3
65	BGP466	<i>P. actinia</i>	M.A., Pa.	3
66	BGP499	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	3
67	BGP055	<i>P. actinia</i>	M.A., Pa.	3
68	BGP056	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	3
69	BGP502	<i>P. kermesina</i>	Ca., Ce., M.A.	3
70	BGP483	<i>P. cincinnata</i>	Ca., Ce., M.A., Am.	3
71	BGP046	<i>P. edmundoi</i>	Ca., M.A.	3
72	BGP170	<i>P. mallacophylla</i>	Ca., Ce., M.A.	3
73	BGP397	<i>P. foetida</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	3
74	BGP452	<i>P. kermesina</i>	Ca., Ce., M.A.	3
75	BGP489	<i>P. foetida</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	3
76	BGP402	<i>P. trintae</i>	Ca., M.A.	3
77	BGP411	<i>P. amethystine</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pan.	3
78	BGP490	<i>P. faleiroi</i>	M.A.	3
79	BGP495	<i>P. misera</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pan.	3
80	BGP394	<i>P. sub-rotunda</i>	Ca., M.A. (restinga)	3
81	BGP484	<i>P. caerulea</i>	Ca., M.A., Pa.	3
82	BGP057	<i>P. miersii</i> x <i>P. miersii</i>	Ca., Ce., M.A.	3
83	BGP058	<i>P. alata</i>	Am., Ce., M.A., Pa.	3
84	BGP059	<i>P. junqueirae</i> x <i>P. junqueirae</i>	M.A.	3
85	BGP080	<i>P. porophylla</i> x <i>P. porophylla</i>	Ce., M.A.	3
86	BGP190	<i>P. edulis</i>	Am., Ca., Ce., M.A., Pa., Pan.	Test.

¹Am. = Amazônia; Ca. = Caatinga; Ce. = Cerrado; M.A. = Mata Atlântica; Pa. = Pampa e Pan. = Pantanal.



Figura 2. Variabilidade fenotípica do germoplasma de *Passiflora* L. da Embrapa Mandioca e Fruticultura avaliado para a tolerância à salinidade. A) *P. edulis* Sims; B) *P. alata* Curtis; C) *P. cincinnata* Mast.; D) *P. gibertii* N.E.Br.; E) *P. suberosa* L.; F) *P. amethystina* J.C.Mikan; G) *P. miersii* Mast.; H) *P. setacea* DC.; I) *P. mucronata* Lam.; J) *P. morifolia* Mast.; K) *P. kermesina* Link & Otto; L) *P. foetida* L.; M) *P. actinia* Hooker; N) *P. bahiensis* Klotzsch; O) *P. caerulea* L.; P) *P. edmundoi* Sacco; Q) *P. edulis* f. *edulis* Sims; R) *P. faleiroi* Imig; S) *P. junqueirae* Imig &

Cervi; T) *P. mallacophylla* Mast.; U) *P. misera* Kunth; V) *P. pohlii* Mast.; W) *P. porophylla* Vell.; X) *P. quadrangularis* L.; Y) *P. rubra* L.; Z) *P. silvestris* Vell.; AA) *P. subrotunda* Mast.; AB) *P. trintae* Sacco; AC) *P. watsoniana* Mast; AD-AF) *Passiflora* sp..

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com dois níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, sendo: CEa= 2 dS m⁻¹ de solução nutritiva (controle) e CEa= 9 dS m⁻¹ de solução nutritiva + NaCl e 86 acessos de *Passiflora*. Foram utilizadas 10 plantas (cinco repetições de duas plantas) em cada dose, totalizando 1.720 plantas avaliadas.

A CEa= 9 dS m⁻¹ foi escolhida para uso na seleção de genótipos tolerantes sob condições hidropônicas por promover estresse moderado, permitindo a distinção entre genótipos sensíveis e tolerantes sem causar morte generalizada às plantas (Santos *et al.*, 2025).

2.4 Obtenção das mudas e sistema hidropônico

As sementes foram obtidas de frutos recém-colhidos, oriundos de polinização cruzada. Para obtenção de mudas uniformes, foi realizado o tratamento das sementes com ácido giberélico + 6-benziladenina – 300 mg mL⁻¹ por 24h antes da semeadura (Moura *et al.*, 2017).

A germinação ocorreu sob condições controladas, em BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), com temperatura alternada com 20 °C por 16 horas e 30 °C por 8 horas, no escuro (Brasil, 2009). Após a emissão da radícula, as sementes foram transplantadas para bandejas, em casa de vegetação. O substrato utilizado foi uma mistura de Vivatto® e fibra de coco na proporção de 3:1, sendo adicionado a esta mistura 20 g do fertilizante Osmocote® (Santos *et al.*, 2024a).

As plantas das diferentes *Passiflora* spp. selecionadas para o transplante e avaliação no sistema hidropônico apresentaram números de folha variáveis, entretanto foram transplantadas aos 30 dias após a semeadura (DAS) como proposto por Santos *et al.* (2025). Para tal, utilizou-se copos descartáveis furados com capacidade para 80 mL, contendo areia de granulometria média lavada e estéril. As mudas foram distribuídas em bandejas utilizando um sistema hidropônico desenvolvido para mantê-las sob irrigação controlada (Figura 3).

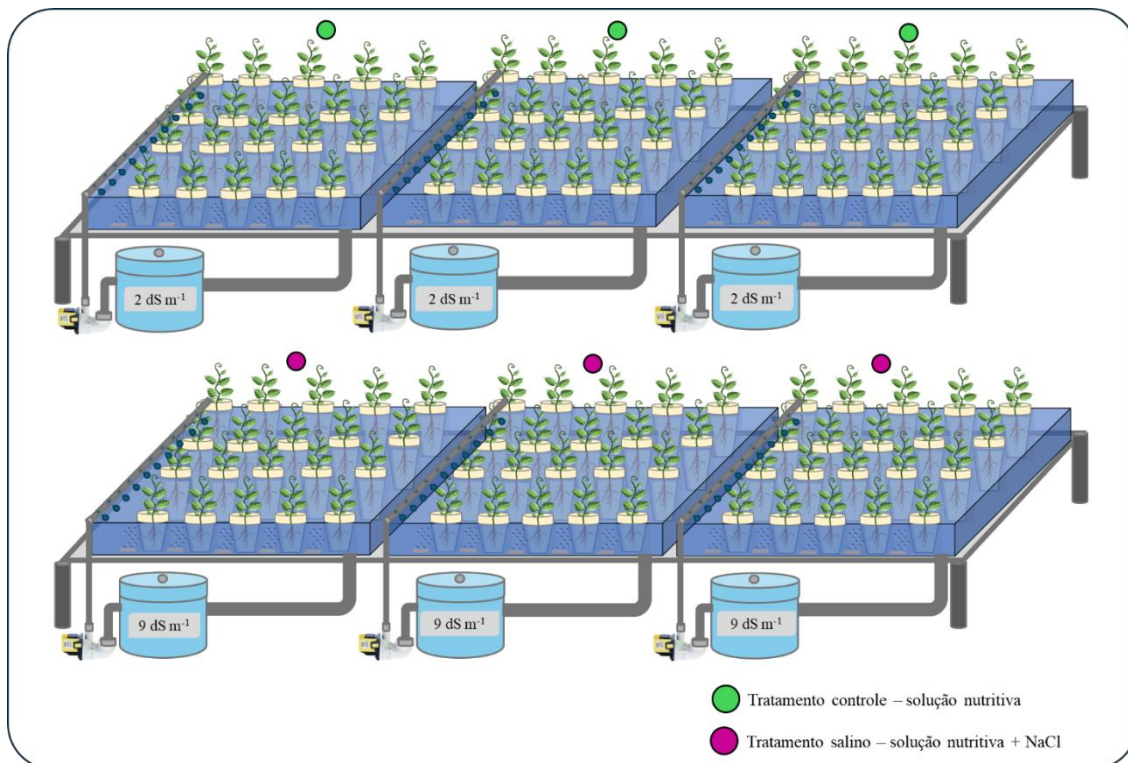


Figura 3. Representação esquemática do sistema hidropônico desenvolvido para avaliação de *Passiflora* spp. sob estresse em condições controladas.

O sistema é formado por seis bandejas de vidro nas dimensões de 130 cm x 90 cm x 13 cm. A circulação da água é automática, composta por 10 ciclos diários com 30 minutos de rega e 1 hora de intervalo; e vazão de $13,33 \text{ L min}^{-1}$. As soluções foram oxigenadas utilizando bombas de aquário (Emicol[®]) conectadas individualmente aos reservatórios (Figura 3). Foram utilizadas bombas com potência de 32 W e voltagem de operação de 127 V (Mondial[®], linha Clean), adaptadas para a circulação da solução nutritiva no sistema hidropônico.

Foram avaliados dois níveis de CEa (2 e 9 dS m^{-1}), sendo o controle contendo solução nutritiva para hidroponia (Forth Solúveis[®]) mais quelato de ferro CEa = 2 dS m^{-1} (Lima *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2020). Para diluir a solução nutritiva utilizou-se água do abastecimento local na proporção de aproximadamente 1 g L^{-1} . Para cada reservatório do sistema hidropônico, foram utilizados 30 g de fertilizante (Forth Solúveis[®]) e 3 g de

quelatado de ferro, totalizando 33 g do produto dissolvidos em 30 L de água. O adubo para fertirrigação utilizado apresenta a seguinte composição: nitrogênio (N - 10%); fósforo (P_2O_5 - 2%); potássio (K_2O - 30%); boro (B - 0,03%); enxofre (S - 10,9%); ferro (Fe - 0,2%); e magnésio (Mg - 1%). A essa solução nutritiva foi acrescentada 0,1 g L^{-1} de quelato de ferro (Fe - 6%).

Para os tratamentos submetidos ao estresse salino, além da solução nutritiva, foi acrescentado o cloreto de sódio (NaCl) para alcançar a concentração de estresse testada ($CE_a = 9 \text{ dS m}^{-1}$). Para tal, utilizou-se a seguinte fórmula: $\text{mg } L^{-1} (\text{NaCl}) = 640 \times (CE_{\text{desejada}} - CE_{\text{atual}})$, sendo CE_{desejada} a condutividade elétrica da solução a ser alcançada; CE_{atual} a condutividade elétrica na qual a solução se encontra (Moura *et al.*, 2021).

As soluções com distintas condutividades elétricas foram acondicionadas em reservatórios plásticos com 60 L de capacidade (Figura 3). A aclimação das plantas e tempo de exposição ao estresse (21 dias) foi realizada conforme estabelecido por Santos *et al.* (2025). O pH e CE foram monitorados a cada dois dias mantendo o volume de 30 L, pH entre 6,0 e 6,5 e a CE foi corrigida (com água do abastecimento local e/ou solução nutritiva para os tratamentos controle e salinos) apenas quando apresentava redução de 20% em relação ao valor inicial.

2.5 Caracteres biométricos e fisiológicos

As variáveis biométricas foram avaliadas duas vezes por semana dos 0 aos 21 dias após a exposição das plantas ao estresse salino (DAE), totalizando oito aferições. Avaliou-se: altura da planta (ALT) em cm, mensurada com auxílio de uma régua milimetrada do colo da planta até a gema apical; diâmetro do caule (DC) em mm, aferido com auxílio de paquímetro digital, imediatamente abaixo das folhas cotiledonares e o número de folhas (NF). O índice de clorofila total (CLT) foi mensurado com clorofilômetro digital e portátil (CCM-200®). As avaliações foram realizadas na terceira folha totalmente expandida, contada a partir do ápice da planta.

Ao final do experimento (21 DAE) avaliou-se o comprimento da raiz (CR) em cm com auxílio de régua milimetrada; a área foliar total (AF) em cm^2 , estimada com o auxílio do software ImageJ (Rasband, 1997-2018) por meio das imagens das folhas das plantas; a massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), determinadas com auxílio de balança semianalítica e os resultados expressos em gramas (g). A massa seca foi obtida após secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C, até as amostras atingirem peso constante. As variáveis de crescimento total, dadas com base na diferença entre a

última (21 DAE) e a primeira (0 DAE) avaliações foram calculadas para a AP (CTAP), DC (CTDC) e NF (CTNF).

2.6 Sintomatologia visual das folhas

Para avaliar os danos causados pelo estresse salino na qualidade das mudas dos 86 acessos de *Passiflora* spp., foi utilizada uma escala de notas criada em função dos sintomas deletérios ocasionados pelos íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) nas folhas de maracujá amarelo (*P. edulis* Sims – espécie comercial do gênero) (Santos *et al.*, 2025 *no prelo*). As avaliações transcorreram por todo período no qual as plantas foram submetidas ao estresse. Foram realizadas oito avaliações entre 0 e 21 dias após a salinização da solução. A escala de notas varia de 1 a 5, sendo 1 para folhas sem sintomas e 5 para folhas murchas com muitos pontos de queimadura e necrose (Figura 4). Aos 21 dias após a salinização das plantas, as notas obtidas foram transformadas em índices de sintomas apresentados em porcentagem (IS%). Para calcular os IS utilizou-se a equação proposta por Mckinney (1923).

Escala de notas	Descrição dos sintomas	Sintomatologia visual
1	Folhas sem sintomas	
2	Folhas com sintomas de deficiência nutricional	
3	Folhas com deficiência e poucos pontos de queimadura ou necrose no centro ou margem do limbo	
4	Folhas com deficiência e muitos pontos de queimadura ou necrose no centro ou margem do limbo	
5	Folhas murchas com muitos pontos de queimadura ou necrose espalhados no limbo	

Figura 4. Escala de notas e sintomatologia foliar de plantas de *Passiflora edulis* Sims proposta por Santos *et al.* (2025) utilizada como padrão para avaliação do estresse salino em diferentes *Passiflora* spp. submetidas ao estresse salino em sistema hidropônico e obtenção do índice de sintomas.

2.7 Avaliação iônica das folhas

Ao final do experimento após obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA) as folhas foram trituradas (Triturador Cadence Di Grano[®]) e o tecido homogeneizado em peneira de malha fina (0,01 mm). Cada amostra foi constituída por um *pool* das 10 plantas avaliadas. As amostras foram enviadas para determinação dos teores de sódio (Na⁺) e potássio (K⁺) pela empresa Ribersolo, localizada em Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. A quantificação dos teores foi realizada após digestão nitro-perclórica do material vegetal, seguida por leitura em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme descrito por Bataglia *et al.* (1983). Dentre os 86 acessos submetidos ao sistema hidropônico, 65 foram avaliados quanto a diagnose iônica das folhas. Este fato é justificado pelo baixo número de folhas apresentado pelos 20 acessos excluídos, tendo em vista que não atingiram massa mínima exigida para análise.

2.8 Análise estatística

Os dados absolutos (não transformados) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste t de Student ($p \leq 0,05$), para comparar as respostas morfofisiológicas entre os tratamentos controle (2 dS m⁻¹) e salino (9 dS m⁻¹), independentemente dos genótipos avaliados.

Os dados de CTAP, CTDC e CTNF foram mensurados com base na diferença entre a primeira (1 DAE) e última (21 DAE) avaliações. Desta forma, podem surgir valores negativos, positivos e zeros. Para essas três características, a relação (sal/controle) pode resultar em valores com indeterminação (divisão por zero), negativos ou positivos. Assim, foi feita uma transformação mínima nessas variáveis com base na formula: $y_i - [(\text{mínimo}(x)) + 1]$, em que y_i é o valor da amostra i , e x é o valor mínimo encontrado entre os valores da característica alvo no controle e no sal conjuntamente. Essa transformação garante a ausência de zeros nos dados e que todos os valores fiquem positivos. Todos os dados, incluindo os transformados, foram analisados com base no índice de estabilidade

de rendimento – IER ($IER = X_s/X_c$) em que X_s é o valor da variável sob estresse e X_c o valor da variável no controle.

Para a análise multivariada, esses dados foram normalizados com base na equação $[(x-\mu)/\sigma]$, em que x é o valor observado de um acesso para determinada característica, μ é a média geral e σ , o desvio padrão da característica em todos os acessos. Após a normalização os dados foram utilizados para gerar um *heatmap* com base na distância Euclidiana e o método de ligação completa (Kaufman; Rousseeuw, 1990). Essa abordagem foi aplicada tanto para os dados de índice de sintomas (IS), quanto para os biométricos e fisiológicos. Com base nos agrupamentos formados, foram elaborados boxplots para cada característica analisada, e as médias foram agrupadas utilizando o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

A análise específica do IS foi realizada com o auxílio dos softwares PAST (Hammer; Harper; Ryan, 2001) e MEGA (Tamura; Stecher; Kumar, 2021). Para a construção da matriz de dissimilaridade utilizou-se a distância Euclidiana e método de agrupamento UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*). Com base nos agrupamentos hierárquicos, foram construídos boxplots comparativos para verificar a distribuição dos valores de IS dentro de cada grupo, possibilitando uma análise mais detalhada da variação sintomática entre os acessos.

Para os dados relacionados à avaliação iônicas (teores de K^+ , Na^+ e razão K^+/Na^+), foram geradas análises com base em valores absolutos e relativos, apresentados por meio de gráficos de barra empilhadas considerando as condições controle e salina. Adicionalmente, foram conduzidas análises de correlação de Pearson, tanto para todas as variáveis morfofisiológicas e fisiológicas em conjunto, quanto especificamente entre as variáveis nutricionais e o índice de sintomas, com o objetivo de investigar possíveis associações entre os parâmetros nutricionais e a expressão de sintomas de estresse salino. As análises e representações gráficas foram realizadas no ambiente R, versão 4.4.0 (R Development Core Team, 2023).

3 RESULTADOS

3.1 Efeito do NaCl em características morfofisiológicas do maracujazeiro

Ao comparar a resposta ao estresse salino ($CEa = 9 \text{ dS m}^{-1}$) em relação ao tratamento controle ($CEa = 2 \text{ dS m}^{-1}$) abrangendo os 86 acessos de *Passiflora*, observou-se diferenças significativas em 12 das 13 variáveis morfofisiológicas, nutricionais e sintomatológica nas folhas (Figura 5). A presença de NaCl na solução nutritiva impactou

o crescimento (Figura 5A-E), o acúmulo de biomassa (Figura 5F-H), o índice de sintomas (IS) (Figura 5I), o acúmulo de íons tóxicos como o sódio (Na^+) (Figura 5L) e o equilíbrio entre o potássio e o sódio K^+/Na^+ nos tecidos foliares (Figura 5M). Entretanto, o índice de clorofila total (CLT), não foi significativamente afetada (Figura 5J). Reduções acima de 30% são consideradas de média a alta para condições de estresse e foram observadas para as variáveis de crescimento total do diâmetro do caule – CTDC, área foliar – AF, massa seca da parte aérea – MSPA, massa seca total – MST e razão K^+/Na^+ , com variações entre 32,7% e 73,5% (Figura 5B; D; F; H; M). Para o índice de sintomas (IS) houve aumento de 36,07% (Figura 5I). Acréscimo de 62,3% foi observado para Na^+ e redução de 12,0% para K^+ nas plantas sob estresse salino (Figura 5K, L).

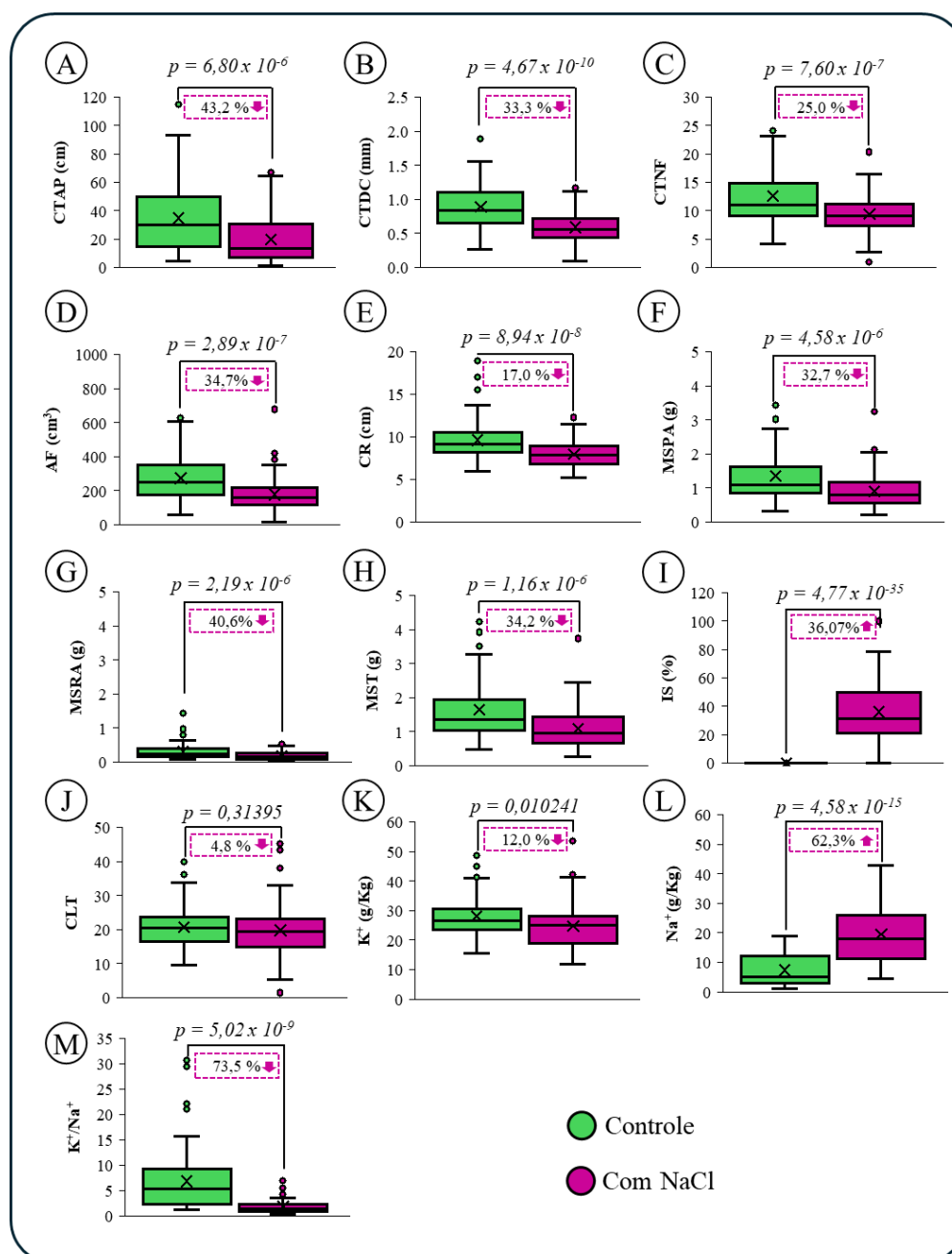


Figura 5. Boxplots dos dados absolutos para comparação de dois grupos experimentais: controle (2 dS m⁻¹) e tratamento salino (9 dS m⁻¹) em 86 acessos do banco de germoplasma de *Passiflora*. Cada gráfico representa uma variável analisada, com valores médios e *outliers*. A: crescimento total da altura da planta (CTAP); B: crescimento total do diâmetro do caule (CTDC); C: crescimento total do número de folhas (CTNF); D: área foliar (AF); E: comprimento de raiz (CR); F: massa seca da parte aérea (MSPA); G: massa seca da raiz (MSRA); H: massa seca total (MST); I: índice de sintomas (IS) e J: concentração de clorofila total (CLT); K: acúmulo de potássio (K⁺); L: acúmulo de sódio (Na⁺) e M: razão K⁺/Na⁺. P-valor pelo teste t. As caixas tracejadas e setas indicam as reduções ou aumentos percentuais para cada variável analisada.

3.2 Variabilidade fenotípica entre genótipos de *Passiflora* e resposta morfofisiológica e sintomatológica à salinidade

Com base na distância Euclidiana e no método de ligação completa, foi identificada uma ampla variação quanto às respostas morfofisiológicas de 86 acessos de *Passiflora* ao estresse salino. O *heatmap* associado ao dendrograma permitiu a formação de cinco grupos (G1 a G5) (Figura 6A), cujas composições dos números de acessos e espécies constam na Tabela 2.

O grupo 1 (G1) foi formado por 19 acessos de 13 espécies sendo a maioria (11) silvestres (Figura 6A; Tabela 2), destacando-se por apresentar, de maneira geral, valores mais altos e desejáveis de IER para as variáveis morfofisiológicas de crescimento CTAP (0,95), CTNF (0,89), AF (0,97), CR (1,01) e acúmulo de biomassa MSPA (1,07), MSRA (1,12) e MST (1,07) (Figura 6B; D-I). Acessos deste grupo como BGP480 (*P. cincinnata*), BGP026 (*P. edulis*), BGP015 (*P. alata*), BGP125 (*P. rubra*), BGP243 (*P. cincinnata*); BGP460 (*Passiflora* sp.) e BGP114 (*P. mucronata*) reuniram altos IER para as variáveis morfométricas e baixos IS – de 0 a 24% (Figura 8A-B), sendo considerados tolerantes ao estresse imposto (Figura 6A). Embora heterogêneo, o grupo G1 apresentou, sob condições salinas (9 dS m⁻¹), a preservação do vigor das plantas, reduções discretas de crescimento e menor expressão de sintomas visuais quando comparados aos seus respectivos controles (2 dS m⁻¹), sobretudo para as espécies silvestres (Figura 7A).

Os genótipos alocados no grupo 2 (G2) com 5 acessos de 4 espécies e o grupo 3 (G3) com 28 acessos de 16 espécies (Figura 6A; Tabela 2), apresentaram valores elevados para IS e um desempenho morfofisiológico inferior em relação aos do G1, com baixos valores de IER para CTAP, AF, MSPA e MST (Figura 6B; E; G; I), conforme indicado pelos tons roxos predominantes no *heatmap* (Figura 6A), sendo, portanto, classificados como os mais sensíveis ao estresse salino. O G3, embora altamente diverso (16 espécies), reuniu o maior número (8) de acessos da espécie comercial (*P. edulis*), inclusive o BGP190 (Figura 6A; Tabela 2) utilizado como testemunha/controle nos três lotes avaliados na triagem do banco (Tabela 1). As plantas do G3 submetidas ao sal e comparadas ao seu controle, de modo geral, refletem os decréscimos morfométricos das partes aérea e radicular, além de sintomas relacionados ao acúmulo de íons tóxicos nas células foliares mais acentuados (Figura 7B).

Os grupos G4 e G5, embora apresentem acessos de espécies comerciais como *P. edulis* e *P. alata*, também reuniram outras espécies silvestres como *P. mucronata*, *P.*

suberosa, *P. silvestris*, *P. porophylla*, *P. cincinnata*, *P. gibertii*, *P. morifolia*, *P. pohlii*, entre outras (Tabela 2) que apresentaram IER intermediários para as variáveis analisadas, sendo estes moderadamente tolerantes ao estresse salino (Figura 6A).

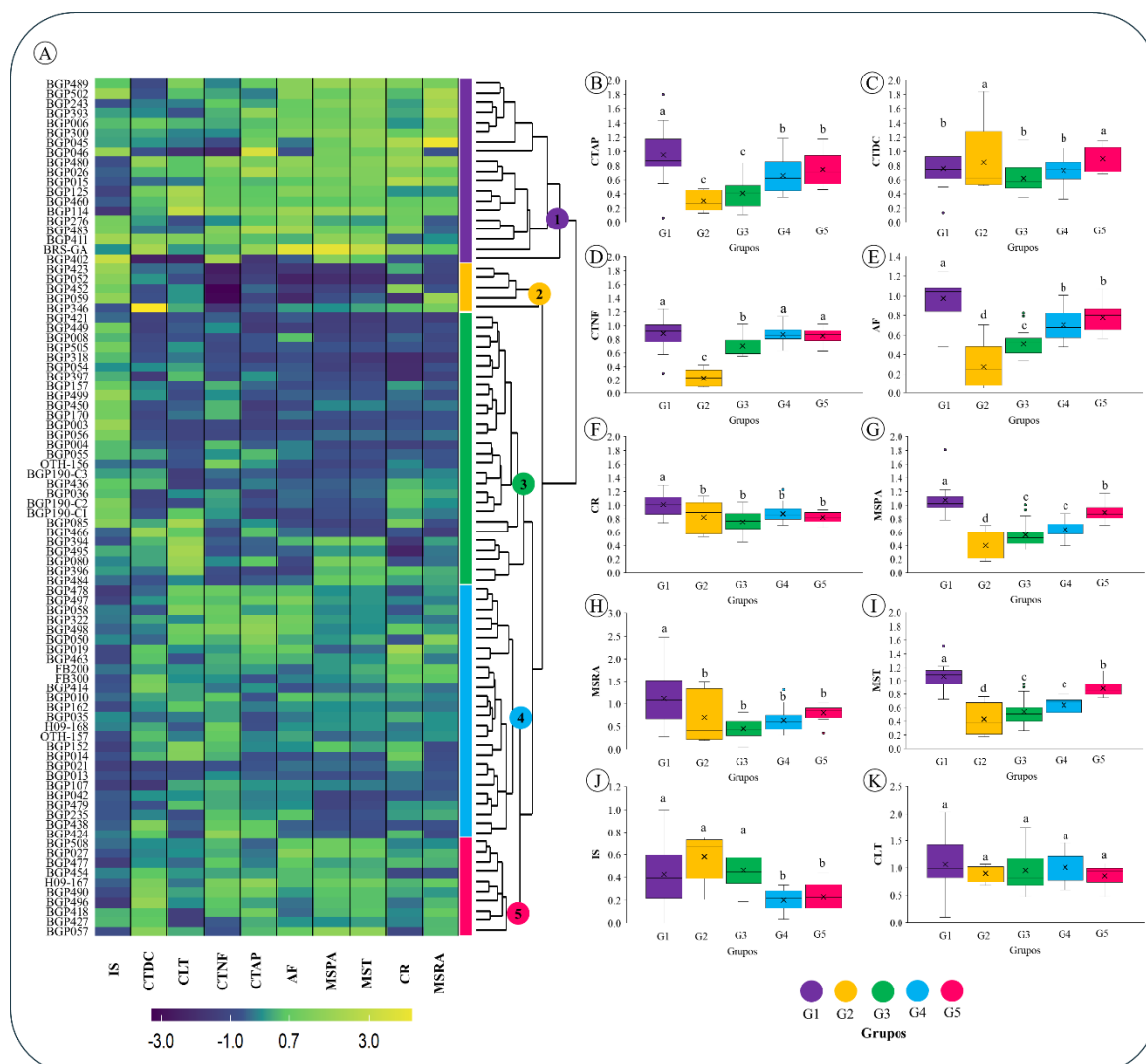


Figura 6. A: Heatmap e cluster de 85 acessos de *Passiflora* e seu controle (BGP190 – *P. edulis*) submetidos ao estresse salino (CEa= 9 dS m⁻¹) com base no índice de estabilidade de rendimento – IER. O gradiente de cores (heatmap) indica os valores normalizados de IER das variáveis analisadas, conforme a escala de -3,0 (roxo) a 3,0 (amarelo). Barras e círculos coloridos no cluster indicam os grupos (G1 a G5) formados. O BGP190-C1; BGP190-C2 e BGP190-C3 são os controles dos lotes 1 a 3, respectivamente. Boxplots para comparação das médias entre os cinco grupos com base no índice de estabilidade de rendimento – IER em que B: crescimento total da altura da planta (CTAP); C: crescimento total do diâmetro do caule (CTDC); D: crescimento total do número de folhas (CTNF); E: área foliar (AF); F: comprimento de raiz (CR); G: massa seca da parte aérea (MSPA);

H: massa seca da raiz (MSRA); I: massa seca total (MST); J: índice de sintomas (IS) e K: concentração de clorofila total (CLT). Médias com letras iguais não diferem de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Tabela 2. Descrição do número de acessos e espécies de *Passiflora* submetidos ao estresse salino e agrupados (G1 a G5) na figura 6A com base no IER para características morfofisiológicas e índice de sintomas.

Grupos	Acessos (n)	Espécies e número de acessos por espécie representantes do grupo	Espécies (n)
G1	19	<i>P. cincinnata</i> (5); <i>P. alata</i> (2); <i>P. edulis</i> (2); <i>P. amethystina</i> (1); <i>P. edimundoi</i> (1); <i>P. foetida</i> (1); <i>P. kermesina</i> (1); <i>P. mucronata</i> (1); <i>P. porophylla</i> (1); <i>P. rubra</i> (1); <i>P. setacea</i> (1); <i>Passiflora</i> sp. (1) e <i>P. trintae</i> (1)	13
G2	05	<i>P. junqueirae</i> (1); <i>P. edulis</i> (1); <i>P. kermesina</i> (1) e <i>P. cincinnata</i> (1)	04
G3	28	<i>P. edulis</i> (8); <i>P. alata</i> (3); <i>P. gibertii</i> (2); <i>P. actínia</i> (2); <i>P. amethystina</i> (1); <i>P. caerulea</i> (1); <i>P. cincinnata</i> (1); <i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i> (1); <i>P. foetida</i> (1); <i>P. mallacophylla</i> (1); <i>P. misera</i> (1); <i>P. morifolia</i> (1); <i>P. porophylla</i> (2); <i>P. quadrangularis</i> (1); <i>P. setacea</i> (1) e <i>P. subrotunda</i> (1)	16
G4	26	<i>P. alata</i> (7); <i>P. edulis</i> (5); <i>P. suberosa</i> (3); <i>P. cincinnata</i> (2); <i>P. amethystina</i> (1); <i>P. gibertii</i> (1); <i>P. morifolia</i> (1); <i>P. mucronata</i> (1); <i>P. porophylla</i> (1); <i>P. silvestris</i> (1); <i>Passiflora</i> sp. (1); e <i>P. watsoniana</i> (1)	12
G5	10	<i>P. edulis</i> (4); <i>P. alata</i> (1); <i>P. bahiensis</i> (1); <i>P. pohlii</i> (1); <i>P. falerioi</i> (1); <i>Passiflora</i> sp. (1) e <i>P. miersii</i> (1)	07

Ao analisar apenas os sintomas foliares (IS %) (Figura 8A) e compará-los com o agrupamento baseado em todas as características avaliadas (Figura 6A), observa-se que os genótipos classificados como sensíveis, com severidade média de 55,8% (grupos E e G; Figura 8A-B), correspondem a 75,8% dos genótipos presentes nos grupos G2 e G3 (Figura 6A).

Quanto aos grupos com menor severidade média – 20,6% (A a D; Figura 8A-B), 94,4% dos genótipos foram alocados nos grupos intermediários G4 e G5 (Figura 6A). Em relação aos genótipos tidos como tolerantes (G1; Figura 6A), apenas 42,1% ficaram nos grupos A a D, sendo estes os materiais com maior tolerância (Figura 8A, B). Destacando-se *P. mucronata* (BGP114), *Passiflora* sp. (BGP496 e BGP021), *P. silvestris* (BGP478), *P. bahiensis* (BGP477), *P. suberosa* (BGP152), *P. rubra* (BGP125) e *P. porophylla* (BGP497) que apresentaram $IS \leq 10\%$ e bom desempenho em outras características (Figura 6A, Figura 8A).

Desta forma, infere-se que o IS influenciou a formação dos agrupamentos, embora as demais variáveis (nove) também tenham contribuído significativamente para a estruturação geral dos grupos (Figura 6A). Correlações negativas de magnitudes intermediárias ($\leq -0,26$) observadas entre o IS e características ligadas ao crescimento como CTAP, AF, CTNF, CTDC e ao aparato fotossintético como CLT (Figura 8C), indicam essa interdependência.

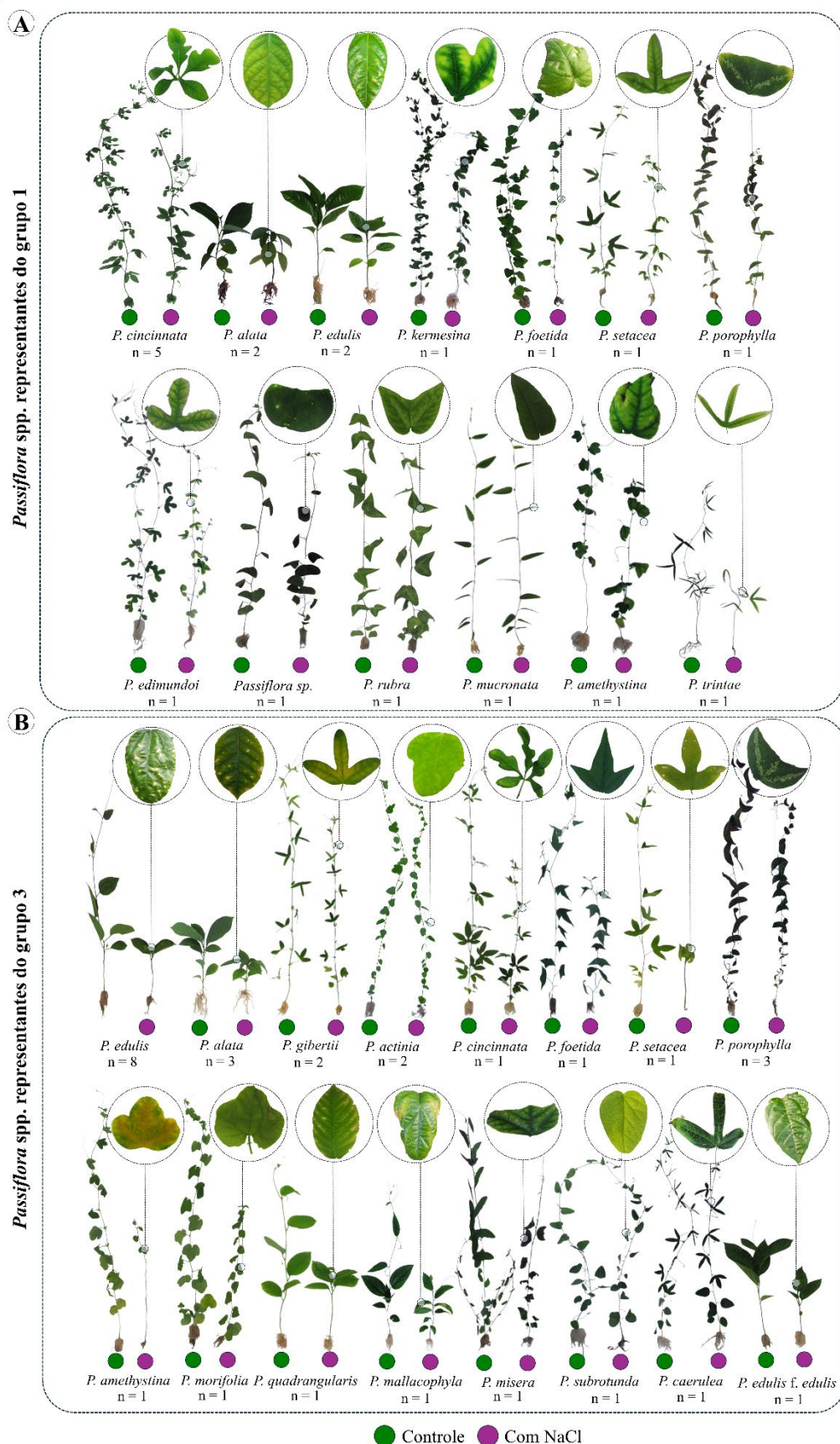


Figura 7. Representação visual e diferenças fenotípicas das plantas de *Passiflora* spp. em dois grupos contrastantes. A: Espécies e número de acessos representantes do grupo 1

(G1 – Tolerante); B: Espécies e número de acessos representantes do grupo 3 (G3 – Sensível). Os agrupamentos foram definidos com base em análise multivariada de variáveis morfofisiológicas e sintomatológica (Figura 6A) e ilustram a parte aérea e radicular das plantas submetidas ao estresse salino (CEa de 9 dS m⁻¹) em comparação aos seus respectivos controles (CEa de 2 dS m⁻¹), bem como detalhes das folhas (formato; presença ou ausência de sintomas) nos tratamentos salinos.

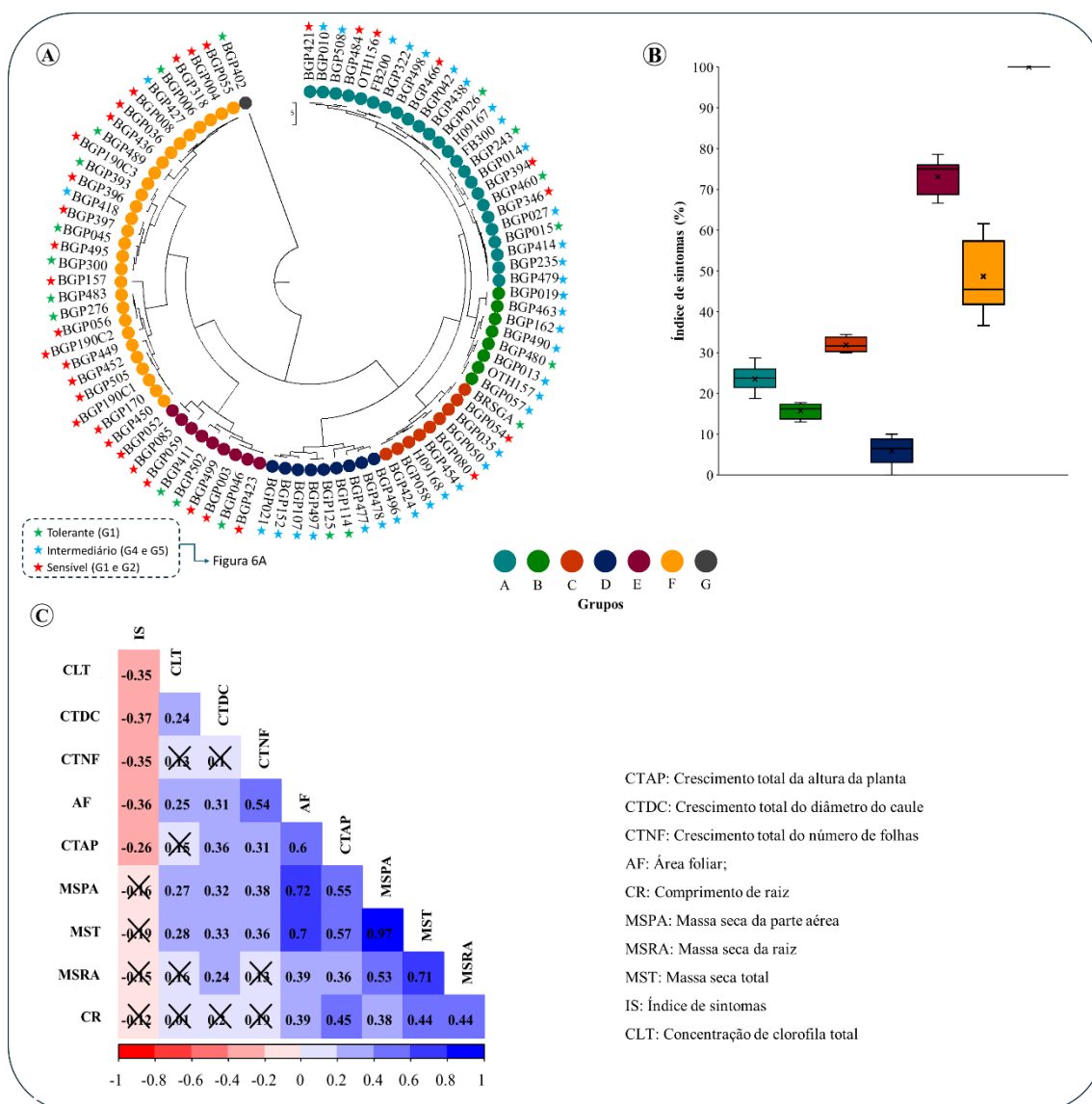


Figura 8. A: Dendrograma circular da resposta sintomatológica de *Passiflora* spp. ao estresse salino via índice de sintomas (IS%). Os círculos coloridos indicam os sete grupos formados (A a G). B: Boxplot dos grupos formados no dendrograma indicando a variação para o IS em percentagem. C: Matriz de correlação entre as dez variáveis analisadas. Os valores com “X” indicam correlações não significativas ($p \geq 0,05$). Acessos identificados

com símbolo de estela são os acessos pertencentes ao grupo (G1 a G5) da Figura 6A. O BGP190-C1; BGP190-C2 e BGP190-C3 são os controles dos lotes 1 a 3, respectivamente.

3.3 Identificação de tolerância à salinidade com base na resposta iônica de genótipos do gênero *Passiflora*

Nos 65 genótipos de *Passiflora* spp. avaliados, de maneira geral, o potássio (K^+) variou pouco com média de 24,91 mg/g (12% menor no tratamento salino) quando comparado ao controle (2 dS m^{-1}) com 28,17 mg/g (Figura 5K; Figura 9A). Para o sódio (Na^+) a média de 19,60 mg/g foi 62,3% maior no tratamento salino (9 dS m^{-1}) (Figura 5L; Figura 9A, B). Na presença de NaCl, o acesso BGP054 (*P. porophylla*) destacou-se pelo maior acúmulo absoluto de K^+ , com 53,68 mg/g, o que representa 85,38% dos cátions totais avaliados; e menor acúmulo de Na^+ , com 9,19 mg/g (14,62 %). Em contrapartida, o acesso BGP477 (*P. bahiensis*) apresentou o menor teor de K^+ , com 11,71 mg/g (27,61 % dos cátions) e maior acúmulo de Na^+ , com 30,69 mg/g (72,39 %) (Figura 9A-C).

A razão K^+/Na^+ reflete absorção ou seletividade favorável mesmo sob estresse. Esta razão variou mais no controle (1,13 a 30,69; média de 6,83) do que na CEa de 9 dS m^{-1} (0,34 a 7,27; média de 1,81). A redução da razão K^+/Na^+ no tratamento salino foi de 73,5% em relação ao controle. Valores elevados K^+/Na^+ na condição salina indicam menor absorção de Na^+ pela planta, assim os acessos BGP460 (*Passiflora* sp.); BGP438 (*P. alata*); BGP054 (*P. porophylla*) e BGP466 (*P. actinia*), com K^+/Na^+ de 7,27, 6,86, 5,84 e 5,45, respectivamente, se destacaram (Figura 9C).

Os dados de correlação reforçam que houve uma relação forte e negativa entre os teores de Na^+ e a razão K^+/Na^+ , tanto sob 2 dS m^{-1} ($r = -0,69$) quanto sob 9 dS m^{-1} ($r = -0,73$), indicando que o acúmulo de sódio reduz diretamente essa razão. Além disso, a razão K^+/Na^+ sob 9 dS m^{-1} apresentou correlação moderada e negativa com o IS ($r = -0,38$), o que reforça que genótipos com maiores razões K^+/Na^+ tendem a expressar menos sintomas visuais. Também foi observada correlação positiva entre o teor de Na^+ e o IS ($r = 0,33$), sugerindo que o acúmulo excessivo de Na^+ está relacionado à expressão de sintomas visíveis de toxicidade. A correlação entre os teores de Na^+ em 2 e 9 dS m^{-1} ($r = 0,83$) indica estabilidade no padrão de acúmulo iônico entre condições. Da mesma forma, a razão K^+/Na^+ apresentou alta correlação entre 2 e 9 dS m^{-1} ($r = 0,74$), sugerindo que alguns genótipos mantêm uma seletividade estável mesmo sob estresse salino (Figura 9D).

Ao comparar os grupos da análise morfofisiológica, de maneira geral, não houve uma nítida correspondência entre os acessos tolerantes (G1) e intermediários (G4 e G5) (Figura 6A) com os teores de K^+ , Na^+ e razão K^+/Na^+ (Figura 9A-C), embora 22 deles tenham apresentado além de IER intermediários e altos para caracteres de crescimento e matéria seca, também razões K^+/Na^+ mais acentuadas, sendo eles: BGP243 (G1) e BGP322 (G4) (*P. cincinnata*); BGP114 (*P. mucronata* – G1); BGP045 (G1) e BGP497 (G4) (*P. porophylla*); BGP460 (*Passiflora* sp. – G1); BGP489 (*P. foetida* – G1); BGP235, BGP162, BGP010, BGP019, BGP050, OTH-157, BGP438 (*P. alata* – G4 e BGP027 – G5); BGP414 (*P. gibertii* – G4); BGP478 (*P. silvestris* – G4); BGP152 (*P. suberosa* – G4); BGP107 (*P. morifolia* – G4); BGP454 (*P. pohlii* – G5); BGP496 (*Passiflora* sp. – G5) e BGP057 (*P. miersii* – G5) (Figuras 6A; 9C).

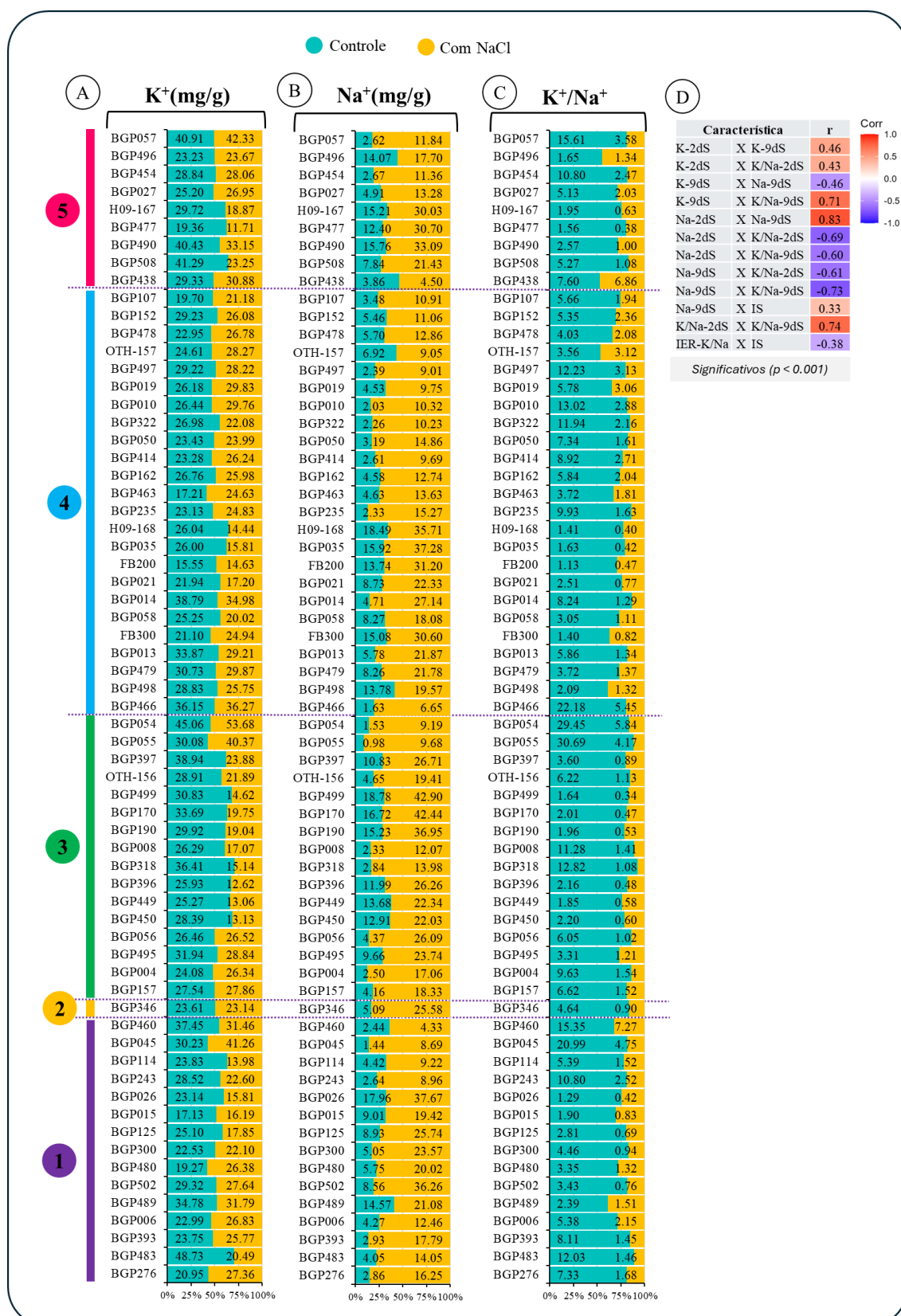


Figura 9. Representação da resposta iônica (potássio – K⁺, sódio – Na⁺ e razão K⁺/Na⁺) de 65 acessos de *Passiflora* sob CEa = 2 dS m⁻¹ (controle) e CEa = 9 dS m⁻¹ (tratamento salino). Valores absolutos (mg/g) do acúmulo de K⁺ (A); Na⁺ (B) e razão K⁺/Na⁺ (C) sob 2 dS m⁻¹ e 9 dS m⁻¹ nos tecidos foliares nos acessos de *Passiflora*. Correlação de Person

entre as características nutricionais (K^+ , Na^+ e razão K^+/Na^+) e índice de sintomas (IS) nas condições controle (2 dS m^{-1}) e salina (9 dS m^{-1}) (D). A organização dos acessos se deu em função dos grupos G1 a G5 formados com base na análise multivariada (com todos os caracteres morfofisiológicos; Figura 6A). O tamanho das barras representa a proporção (%) dos valores nas duas condições avaliadas.

4 DISCUSSÃO

Estudos com a espécie comercial de maracujazeiro (*P. edulis*) e algumas espécies silvestres têm garantido avanços quanto a compreensão dos efeitos do estresse salino em *Passiflora* L. (Moura *et al.*, 2020; 2021; Lima *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2022; Galvão Sobrinho *et al.*, 2023; Lima *et al.*, 2023; Souto *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2024), embora com diferentes níveis de salinidade, geralmente abaixo de 6 dS m^{-1} , e número restrito de genótipos. Neste estudo, realizamos a primeira triagem com ampla variabilidade de acessos do gênero (Figura 2) seguindo o protocolo estabelecido no Capítulo 2 (Santos *et al.*, 2025) para identificar genótipos tolerantes à salinidade.

A salinidade é um dos estresses abióticos mais limitantes à produção vegetal em regiões semiáridas de todo o mundo (Hassani *et al.*, 2021; Gheyi *et al.*, 2023). Os resultados da avaliação de 86 acessos revelaram que o nível crítico de 9 dS m^{-1} reduziu expressivamente variáveis relacionadas ao crescimento aéreo, radicular, ao acúmulo de biomassa, K^+ e a razão K^+/Na^+ em relação ao controle – 2 dS m^{-1} (Figura 5A-H; K; M), enquanto promoveu o aumento da severidade dos sintomas e acúmulo de Na^+ nas plantas (Figura 5I; L). Tais reduções, tanto em maracujazeiro sob estresse salino (Lima *et al.*, 2021a, b; Moura *et al.*, 2021; Rodrigues-Filho *et al.*, 2023), quanto em outras glicófitas (Naheed *et al.*, 2021; Punia *et al.*, 2021), é resultado do desequilíbrio hídrico causado pelo acúmulo dos íons Na^+ e Cl^- , que limita a absorção de água, reduz a turgescência e compromete a divisão e alongamento celular, afetando assim o crescimento vegetal, além dos efeitos tóxicos causados pelo excesso desses íons nas células (Negrão *et al.*, 2017; Taiz *et al.*, 2021).

Reduções superiores a 33% na biomassa (Figura 5F-H), indicam prejuízos à fotossíntese e ao uso de assimilados (Qiu *et al.*, 2021; Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2022; Seymen *et al.*, 2023). A redução na área foliar e no número de folhas observada nas passifloraceas sob estresse salino pode refletir tanto um mecanismo adaptativo para minimizar a perda de água por transpiração (Punia *et al.*, 2021; Denaxa *et al.*, 2022; Khalil *et al.*, 2022), quanto uma limitação fisiológica decorrente da

diminuição da capacidade fotossintética em função do desenvolvimento de necrose e senescência foliar induzidas pelo acúmulo excessivo de íons tóxicos nas células foliares (Garriga *et al.*, 2015). Para o maracujazeiro-amarelo o fechamento estomático, induzido pelo excesso de sais, limita a absorção de CO₂ e, assim, a atividade fotossintética e o transporte de fotoassimilados, o que impacta o acúmulo de biomassa de plantas sob estresse (Galvão Sobrinho *et al.*, 2023 e Rodrigues-Filho *et al.*, 2023).

A redução média de 4,8% não foi significativa (Figura 5J) para a concentração de clorofila total (CLT), sugerindo que o estresse aplicado não afetou diretamente a biossíntese de clorofila nem a integridade dos cloroplastos (Lima *et al.*, 2022; Paiva *et al.*, 2023). No entanto, genótipos de *P. edulis* como BGP418, BGP427, BGP424, FB200, FB300, BGP190, BGP436, BGP450, BGP499, BGP449, alocados em diferentes grupos, apresentaram menores CLT, enquanto espécies silvestres como *P. mucronata* (BGP114), *Passiflora* sp. (BGP460), *P. rubra* (BGP125), *P. foetida* (BGP489), *P. gibertii* (BGP085), *P. cincinnata* (BGP480) entre outras, mantiveram ou superaram os níveis do controle, além de outros caracteres morfofisiológicos como altura, área foliar e matéria seca (Figura 6A) e, ainda, acúmulo de potássio (K⁺) nos tecidos foliares sob estresse (Figura 9). Esses fatores podem ter contribuído para a manutenção do ajuste osmótico e eficiência fotossintética (Taiz *et al.*, 2021; Zafar *et al.*, 2024). A literatura diverge sobre a resposta acerca dos pigmentos fotossintéticos, alguns estudos mostram redução (Moura *et al.*, 2021; Punia *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2024) e outros incrementos (Sacramento *et al.*, 2014; Paiva *et al.*, 2021; 2023). A manutenção dos níveis de CLT sob estresse podem sugerir que, no curto prazo, as passifloras acionam mecanismos de tolerância para a preservação da estrutura dos cloroplastos, entretanto a redução para as demais características indica comprometimento da capacidade fotossintética possivelmente em decorrência da limitação funcional dos processos fotoquímicos e bioquímicos, associada ao desequilíbrio iônico, à redução da eficiência do transporte de elétrons e ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio (Rasel *et al.*, 2021; Munns *et al.*, 2021; Paiva *et al.*, 2023). Esses resultados reforçam a relevância de se investigar acessos contrastantes, a fim de compreender mais profundamente os limites das respostas adaptativas observadas e ampliar as análises fisiológicas, buscando elucidar com maior precisão as interações que condicionam a tolerância ao estresse em espécies silvestres.

O uso do Índice de Estabilidade de Rendimento (IER) reflete a estabilidade frente ao estresse, sendo eficiente na identificação de genótipos com melhor desempenho sob salinidade, uma vez que materiais estáveis e tolerantes devem apresentar valores de IER

próximos ou superiores a 1,0. Esse índice vem sendo aplicado com sucesso em culturas como trigo (Choudhary *et al.*, 2021; Tao *et al.*, 2021), romã (Khalil *et al.*, 2022), morango (Roshdy *et al.*, 2021), tomate (Alam *et al.*, 2021) e cevada (Ebrahim *et al.*, 2022). Análises univariadas e multivariadas são descritas como importantes ferramentas estatísticas no processo de triagens robustas (Sivakumar *et al.*, 2020; Alam *et al.*, 2021; Denaxa *et al.*, 2022). A combinação da análise de agrupamento (*heatmap* + *cluster*) com os valores de IER para 10 características morfofisiológicas permitiu identificar padrões contrastantes à salinidade (Figuras 6A) nos 86 genótipos avaliados. O uso desse índice permitiu discriminar os acessos em cinco grupos sendo G1 tolerante; G2 e G3 sensíveis e G4 e G5 intermediários, demonstrando variabilidade intra e interespecífica (Figuras 6A-K). Dentre os 19 acessos do G1, seis foram destaque por reunir altos $IER \geq 0,80$ para variáveis de crescimento e acúmulo de biomassa, associados a baixos índices de sintoma (Figura 6A; Figura 8A, B). Esses acessos pertencem às espécies *P. mucronata*, *P. cinnamomata*, *P. rubra*, *P. edulis*, *P. alata*, e uma espécie não descrita (*Passiflora* sp.).

A maioria dos acessos avaliados da espécie cultivada (*P. edulis*) foi alocada no grupo G3 (sensível), junto à testemunha BGP190 (C1 a C3), enquanto os acessos de *P. alata* foram mais representados no G4 (intermediário), contudo, os acessos BGP026 (*P. edulis*) e BGP015 (*P. alata*) se destacaram como tolerantes (G1) (Tabela 2; Figura 6A). Os acessos da espécie silvestre *P. cinnamomata* também mostraram comportamento diferencial, sendo alocados em grupos com classificações distintas tanto para as características morfofisiológicas, quanto para as nutricionais e sintomatológicas (Figuras 6, 7; 9). Esta plasticidade, abre perspectiva para que ações de melhoramento possam ser realizadas em menor espaço de tempo considerando que a compatibilidade intraespecífica favorece o sucesso dos cruzamentos, devido à semelhança cromossômica, morfológica, anatômica, fisiológica e à maior eficiência na introgressão de genes de interesse (Soares *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2017).

Embora sintomas necróticos nas bordas das folhas sejam típicos da deficiência de K^+ (Luo *et al.*, 2025), a baixa variação desse nutriente nos tecidos foliares (Figura 9A) sugere que tais danos estejam mais relacionados ao acúmulo de Na^+ e à consequente redução da disponibilidade de água, o que pode levar à desidratação celular e à queimadura foliar (Munns; Gilliam, 2015). No entanto, não se pode descartar que esses sintomas também estejam associados ao estresse oxidativo, uma vez que o excesso de sais pode intensificar a produção de EROs, promovendo a peroxidação lipídica e danos às membranas celulares, o que resulta em necrose foliar. A ausência ou surgimento de danos

visuais induzidos pelo excesso de sais tóxicos são relatados como indicação de tolerância (Dasgan *et al.*, 2002; Alam *et al.*, 2021; Rasel *et al.*, 2021). O uso do IS baseado na sintomatologia visual das folhas (Figura 4; 7), foi eficiente na distinção entre materiais assintomáticos e aqueles com severo comprometimento morfofisiológico decorrente da toxicidade iônica (Figura 8A). A correlação sob condição salina entre IS e Na^+ foi positiva ($r = 0,33$) e de Na^+ e K^+ foi negativa ($r = -0,46$), embora pouco expressivas indicam certa relação (Figura 9D).

Os acessos mais sensíveis, em geral, apresentaram maior acúmulo de Na^+ (Figura 9B) em função da competição com nutrientes essenciais como o K^+ , o que afeta a integridade celular e os processos metabólicos das plantas (Rasel *et al.*, 2021) e reflete na manifestação de cloroses, queimaduras e necroses nas folhas, além de afetar outras características de crescimento e biomassa (Figura 7). O K^+ desempenha um papel particularmente crítico no crescimento e metabolismo das plantas e contribui para sua sobrevivência sob estresses abióticos como a salinidade (Munns; Gilliham, 2015; Wang *et al.*, 2018; Johnson *et al.*, 2022). A influência desse elemento fundamental está associada a osmorregulação, abertura estomática, equilíbrio iônico e enzimático (Taiz *et al.*, 2021). As deficiências de K^+ podem diminuir a fixação fotossintética de CO_2 e o transporte e utilização de assimilados (Hasanuzzaman *et al.*, 2021).

Dos genótipos avaliados, 22 acessos alocados nos grupos tolerantes e moderadamente tolerantes para os caracteres morfofisiológicos e IS (Figuras 6; 8) também apresentaram maior acúmulo de K^+ nos tecidos vegetais (Figura 9) e são pertencentes a 13 *Passiflora* spp. (*P. mucronata*, *P. alata*, *P. cincinnata*, *P. porophylla*, *P. gibertii*, *P. miersii*, *P. morifolia*, *P. suberosa*, *P. silvestris*, *P. foetida*, *P. pohlii*, além de duas espécies não descritas - *Passiflora* sp.). Os teores menos expressivos de Na^+ e altos de K^+ e razão K^+/Na^+ para esses acessos e espécies (Figura 9A-C), indicam sua maior eficiência na exclusão e compartimentalização seletiva de íons tóxicos, manutenção da homeostase iônica e preservação da integridade celular sob o estresse salino (Munns; Gilliham, 2015; Rasel *et al.*, 2021; Luo *et al.*, 2025).

Nos genótipos tolerantes, a presença desses mecanismos pode também estar aliada à ação eficiente de sistemas antioxidantes, que contribuem para minimizar os efeitos do estresse oxidativo e controlar a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o H_2O_2 , que em níveis elevados causam danos a proteínas, lipídios e DNA (Hasanuzzaman *et al.*, 2021; Roşca *et al.*, 2023). Para neutralizar esses efeitos, as plantas ativam enzimas como superóxido dismutase, catalase, peroxidase e ascorbato peroxidase,

que estão associadas à tolerância por refletirem a capacidade adaptativa das plantas frente ao estresse salino (Negrão *et al.*, 2018; Alam *et al.*, 2021). Santos *et al.* (2024b) demonstraram haver diferença no acúmulo de H_2O_2 em *Passiflora* spp., sendo as espécies silvestres *P. mucronata* e *P. gibertii* eficientes na neutralização desses efeitos em comparação a *P. edulis*. Esse aspecto deve ser aprofundado em futuras etapas, por meio de análises bioquímicas e moleculares, para entender seu papel na tolerância observada em acessos promissores.

Em relação ao K^+ , Na^+ e sua relação, é oportuno destacar que, embora de modo geral não tenha sido observada uma relação linear entre os aspectos morfofisiológicos e nutricionais para todos os genótipos avaliados, existem exceções tanto entre os acessos quanto dentro dos grupos G1 a G5 (Figuras 6A e 9A-C). Essa diversidade de respostas ao sal pode ser explicada pela elevada diversidade morfológica, fisiológica, fenológica e genética presente em *Passiflora* spp. (Soares *et al.*, 2015; Faleiro *et al.*, 2019; Jesus *et al.*, 2022), diferentemente de estudos realizados em espécies únicas ou com variações botânicas dentro da mesma espécie, como em tomate (Dasgan *et al.*, 2002; Alam *et al.*, 2021), morango (Denaxa *et al.*, 2022), arroz (Rasel *et al.*, 2021) e maracujá-amarelo (Santos *et al.*, 2024b; 2025).

Além da diversidade, a razão K^+/Na^+ , embora interessante para identificar tolerância ao estresse salino (Talakayala *et al.*, 2025; Zafar *et al.*, 2024), não permite inferir se o Na^+ quantificado na análise foliar está localizado no vacúolo ou no citoplasma. Sabe-se que plantas tolerantes podem excluir o Na^+ ou o compartimentalizar nos vacúolos, evitando sua presença no citoplasma, onde pode exercer efeitos tóxicos e comprometer o crescimento vegetal, como já relatado no maracujazeiro (Lima *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2023; Luo *et al.*, 2025) e em outras espécies (Dasgan *et al.*, 2002; Gharsallah *et al.*, 2016; Wu, 2018; Alam *et al.*, 2021). Altas concentrações de Na^+ podem interferir em processos metabólicos ao competir com o K^+ por sítios de ligação em enzimas, canais iônicos e transportadores de membrana, afetando funções celulares reguladas por esse nutriente essencial (Wu *et al.*, 2018; Luo *et al.*, 2025). De fato, nossos resultados mostram que a variação nos teores de K^+ foi relativamente baixa entre as condições com e sem NaCl (Figuras 5K; 9A), sugerindo que a absorção de K^+ não foi drasticamente comprometida pelo estresse salino. No entanto, a presença de Na^+ , dependendo de sua compartimentalização no interior celular, pode ter interferido na homeostase iônica e modulado as respostas fisiológicas, mesmo diante de níveis adequados de K^+ . A absorção elevada de ambos os íons sob estresse salino também pode

estar relacionada à ampla disponibilidade desses elementos na solução e ao sistema hidropônico adotado com irrigação 10 vezes ao dia.

As associações e características reforçam que a tolerância à salinidade é um caráter complexo, dependente da interação entre múltiplas características e da variabilidade genética, evidenciando que a abordagem integrada adotada permitiu identificar recursos genéticos promissores para o melhoramento do maracujazeiro. Com base nos achados apresentados, as próximas etapas de pesquisa deverão utilizar as espécies sensíveis e tolerantes para avançar em estudos enzimáticos e de expressão gênica visando melhor compreensão dos mecanismos de tolerância em *Passiflora*. Além disso, deve-se priorizar o uso de genótipos tolerantes identificados em cruzamentos intra e interespecíficos (*Passiflora* sp. x *P. edulis*), com o objetivo de gerar populações segregantes com potencial agrônomo e maior tolerância ao estresse salino. No entanto, o sucesso desses cruzamentos dependerá do enfrentamento de barreiras reprodutivas pré e pós-zigóticas que podem limitar a viabilidade dos híbridos e a expressão dos caracteres desejáveis (Soares *et al.*, 2015). Além disso, algumas espécies poderão ser testadas como porta-enxertos (Lima *et al.*, 2017) em ambientes com salinidade a exemplo de alguns locais com polos irrigados no semiárido.

5 CONCLUSÃO

O estresse salino no nível de 9 dS m⁻¹ afetou todas as variáveis em análise, com reduções expressivas no crescimento aéreo e radicular, acúmulo de biomassa e aumentos dos sintomas visuais em virtude do acúmulo de sódio (Na⁺) nos tecidos foliares das Passifloráceas em estudo. A aplicação do Índice de Estabilidade de Rendimento (IER) em conjunto com o Índice de Sintomas (IS%) e as análises nutricionais, permitiu identificar genótipos promissores com melhor desempenho sob estresse, destacando-se 22 acessos de 13 espécies: *P. mucronata*, *P. cincinnata*, *P. porophylla*, *P. gibertii*, *P. miersii*, *P. morifolia*, *P. suberosa*, *P. silvestris*, *P. foetida*, *P. pohlii*, duas *Passiflora* sp. e a cultivada *P. alata*. Esses materiais apresentaram maior acúmulo de biomassa, menores perdas em crescimento, baixos níveis de sintomatologia foliar e capacidade de manter a razão K⁺/Na⁺.

A presença de acessos resilientes em espécies cultivadas (*P. edulis* e *P. alata*) revela oportunidades imediatas para o melhoramento convencional, enquanto o alto desempenho de espécies silvestres reforça seu potencial como fonte genética em cruzamentos interespecíficos ou como porta-enxertos. Em conjunto, os resultados

fornece subsídios inéditos e sólidos para o desenvolvimento de cultivares de maracujá adaptadas a ambientes salinos, alinhadas às necessidades produtivas do semiárido brasileiro e direcionam os próximos passos do programa de melhoramento.

REFERÊNCIAS

Alam, M.S., Tester, M., Fiene, G., Mousa, M.A.A. Early growth stage characterization and the biochemical responses for salinity stress in tomato. **Plants**, v. 10, n. 4, p.712, 2021.

Alelo Vegetal., **Acessos do Banco Ativo de Germoplasma de Maracujá da Embrapa Mandioca e Fruticultura: dados do passaporte**, 2025. Disponível em: <https://av.cenargen.embrapa.br/avconsulta/Passaporte/bancoAcesso.do?idb=347>. Acesso em: 25 de junho de 2025.

Alfosea-Simón, M., Zavala-Gonzalez, E.A., Camara-Zapata, J.M., Martínez-Nicolás, J.J., Simón, I., Simón-Grao, S., García-Sánchez, F. Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system. **Scientia Horticulturae**, v. 272, p.109509, 2020.

Anshori, M.F., Purwoko, B.S., Dewi, I.S., Ardie, S.W., Suwarno, W.B. A new approach to select doubled haploid rice lines under salinity stress using indirect selection index. **Rice Science**, v. 28, n. 4, p.368-378, 2021.

Bataglia, O.C., Furlani, A.M.C., Teixeira, J.P.F., Furlani, P.O., Gallo, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Boletim Técnico: Instituto Agrônômico, n. 78, 1983.

Bernacci, L.C., Nunes, T.S., Mezzonato, A.C., Milward-de-Azevedo, M.A., D.C. Imig, Cervi, A.C. (*in memoriam*). **Passiflora in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB12523>. Acesso em: 17 de julho de 2024.

Bezerra, M.A., Cavalcante, L.F., Bezerra, F.T., Silva, A.R., Oliveira, F.F., Medeiros, S.A. Saline water, pit coating and calcium fertilization on chlorophyll, fluorescence, gas exchange and production in passion fruit. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p.319, 2019.

Brasil., Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de defesa agropecuária. **Regras para análise de sementes**, 2009. Disponível em: <https://11nk.dev/jTjO3>. Acesso em: 10 de abril de 2025.

Chaudhary, M.T., Majeed, S., Rana, I.A. Ali, Z., Jia, Y., Du, X., Hinze, L., Azhar, M.T. Impact of salinity stress on cotton and opportunities for improvement through conventional and biotechnological approaches. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 20, 2024.

Choudhary, A., Kaur, N., Sharma, A., Kumar, A. Evaluation and screening of elite wheat germplasm for salinity stress at the seedling phase. **Physiologia plantarum**, v. 173, n. 4, p.2207-2215, 2021.

Corwin, D. L. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. **European Journal of Soil Science**, v. 72, n. 2, p. 842–862, 2020.

Dasgan, H.Y., Aktas, H., Abak, K., Cakmak, I. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. **Plant Science**, v. 163, n. 4, p.695-703, 2002.

Denaxa, N. K., Nomikou, A., Malamos, N., Liveri, E., Roussos, P. A., Papasotiropoulos, V. Salinity effect on plant growth parameters and fruit bioactive compounds of two strawberry cultivars, coupled with environmental conditions monitoring. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p.2279, 2022.

Ebrahim, F., Arzani, A., Rahimmalek, M. *et al.* Yield Related Traits and Tolerance Indices to Screen Salinity Tolerant Genotypes in Cultivated and Wild Barley. **Gesunde Pflanzen**, v. 74, p.1099-1108, 2022.

Fageria, N. K.; Soares Filho, W. Gheyi, H. R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Ghey, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C.F. (Eds.) **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. 2010, p.130-141.

Faleiro, F.G., Junqueira, N.T.V., Junghans, T.G., Jesus, O.N., Miranda, D., Otoni, W.C. Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, p.e-155, 2019.

FAO., Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Mapa global de solos afetados por sal, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/>. Acesso em: 25 de junho de 2025.

Ferreira, J.F.S., Liu, X., Suddarth, S.R.P., Nguyen, C., Sandhu, D. NaCl accumulation, shoot biomass, antioxidant capacity, and gene expression of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. in response to irrigation waters of moderate to high salinity. **Agriculture**, v. 12, p.1856, 2022.

Galvão Sobrinho, T., da Silva, A.A.R., de Lima, G.S., de Lima, V.L.A., Borges, V.E., Nunes, K.G., Soares, L.A.A., Saboya, L.M.F., Gheyi, H.R., Gomes, J.P., Fernandes, P.D., de Azevedo, C.A.V. Foliar applications of salicylic acid on boosting salt stress tolerance in sour passion fruit in two cropping cycles. **Plants**, v. 12, p.10, 2023.

Garriga, M., Muñoz, C.A., Caligari, P.D., Retamales, J.B. Effect of salt stress on genotypes of commercial (*Fragaria x ananassa*) and Chilean strawberry (*F. chiloensis*). **Scientia Horticulturae**, v. 195, p.37-47, 2015.

Gharsallah, C., Fakhfakh, H., Grubb, D., Gorsane, F. Effect of salt stress on ion concentration, proline content, antioxidant enzyme activities and gene expression in tomato cultivars. **AoB Plants**, v. 8, p.plw055, 2016.

Gheyi, H.R., Sandhu, D., Lacerda, C.F. Fields of the Future: Pivotal Role of Biosaline Agriculture in Farming. **Agriculture**, v. 13, n. 9, p.1774, 2023.

Hammer, Ø., & Harper, D. A. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, 2001.

Hasanuzzaman, M., Raihan, M.R.H., Masud, A.A.C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., Nahar, K., Fujita, M. Regulation of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Salinity. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, p.9326, 2021.

Hassani, A., Azapagic, A., Shokri, N. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. **Nature communications**, v. 12, n. 1, p.6663, 2021.

IBGE., Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de recuperação automática -Sidra, 2024. **Produção agrícola municipal: produção de maracujá no ano de 2023**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 27 maio de 2025.

Jesus, O.N., Lima, L.K.S., Soares, T.L., da Silva, L.N., dos Santos, I.S., Sampaio, S.R., de Oliveira, E.J. Phenotypic diversity and alternative methods for characterization and prediction of pulp yield in passion fruit (*Passiflora* spp.) germplasm. **Scientia Horticulturae**, v. 292, p.110573, 2022.

Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, M. S., Kumar, V., Shackira, A. M., Puthur, J. T., Hasanuzzaman, M. Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.172, p.56-69, 2022.

Khalil, H.A., El-Ansary, D.O., Ahmed, Z.F. Mitigation of salinity stress on pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Wonderful) plant using salicylic acid foliar spray. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p.375, 2022.

Kramer, I., Peleg, N., Mau, Y. Climate change shifts risk of soil salinity and land degradation in water-scarce regions. **Agricultural Water Management**, v. 307, p.109223, 2025.

Kumar, S., Stecher, G., Suleski, M., Sanderford, M., Sharma, S., Tamura, K. MEGA12: Molecular Evolutionary Genetic Analysis version 12 for adaptive and green computing. **Molecular Biology and Evolution**, v. 41, n. 12, p.msae263, 2024.

Lima, G.S., Soares, M.G.D.S., Soares, L.A.A., Gheyi, H.R., Pinheiro, F.W., Silva, J.B.D. Potassium and irrigation water salinity on the formation of sour passion fruit seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 393-401, 2021a.

Lima, G.S., Andrade, J.N.F., Medeiros, M.N.V., Soares, L.A.A., Gheyi, H.R., Nobre, R.G., Lacerda, C.N. Gas exchange, growth, and quality of passion fruit seedlings cultivated with saline water. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p.137–154, 2021b.

Lima, G.S., Pinheiro, F.W., Gheyi, H.R., Soares, L.A.A., Sousa, P. F.N.,_Fernandes, P.D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit

production of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 3, p.180-189, 2022.

Lima, G.S., Silva, A.A.R., Torres, R.A.F., Soares, L.A.A., Gheyi, H.R., Silva, F.A., Lima, V.L.A. NPK Accumulation, Physiology, and Production of Sour Passion Fruit under Salt Stress Irrigated with Brackish Water in the Phenological Stages and K Fertilization. **Plants**, v. 12, n. 7, p. 1573, 2023.

Lima, L.K.S., Jesus, O.N., Soares, T.L., Santos, I.S., Oliveira, E.J., Coelho Filho, M.A. Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 263, p. 109037, 2020.

Lima, L.K.S., Soares, T.L., de Souza, E.H., Jesus, O.N., Girardi, E.A. Initial vegetative growth and graft region anatomy of yellow passion fruit on *Passiflora* spp. rootstocks. **Scientia horticulturae**, v. 215, p. 134-141, 2017.

Luo, H. B., Cao, H. Q., Huang, C. M., Wu, X. J., Ye, L. P., Wei, Y. W. Genome wide identification and functional analyses of HAK family potassium transporter genes in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) in response to potassium deficiency and stress responses. **Plant Physiology and Biochemistry**, p.109995, 2025.

McKinney, H.H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v. 26, p.195-218, 1923.

Moura, R.D.S., Soares, T.L., Lima, L.K.S., Gheyi, H.R., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of *Passiflora edulis* Sims plants propagated by different methods. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, p.1692-1706, 2020.

Moura, R.S., Soares, T.L., Lima, L.K.S., Gheyi, H.R., Dias, E.A., Jesus, O.N., Coelho Filho, M.A. Effects of salinity on growth, physiological and anatomical traits of *Passiflora* species propagated from seeds and cuttings. **Brazilian Journal of Botany**, v. 44, p.17-32, 2021.

Moura, R.S., Gheyi, H.R., Coelho, M.F., Jesus, O.N., Silva Sá, F.V., Lima, L.S. Tolerance of passion fruit species under salt stress. **International Journal of Current Research**, v. 8, p.37689-37695, 2017.

Munns, R., Gilliam, M. Salinity tolerance of crops - what is the cost? **New Phytol**, v. 208, n. 3, p.668-673, 2015.

Naheed, R., Aslam, H., Kanwal, H., Farhat, F., Gamar, M.I.A., Al-Mushhin, A.A., Hessini, K. Growth attributes, biochemical modulations, antioxidant enzymatic metabolism and yield in Brassica napus varieties for salinity tolerance. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 10, p.5469-5479, 2021.

Negrão, S., Schmöckel, S.M., Tester, M.J.A.O.B. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Annals of botany**, v. 119, n. 1, p.1-11, 2017.

Paiva, F.J.S., Lima, G.S., Lima, V.L.A., Ramos, J.G., Gheyi, H.R., Farias, M.S.S., Fernandes, P.D., de Azevedo, C.A.V. Growth, photosynthetic pigments, and photochemical efficiency of sour passion fruit as a function of the cationic nature of water. **Semina Ciênc. Agrár.**, v. 42, p.583–598, 2021.

Paiva, F.J.S., Lima, G.S., Lima, V.L.A., Souza, W.B.B., Soares, L.A.A., Torres, R.A.F., Almeida, A. K.C. The Effects of Irrigation Water Salinity on the Synthesis of Photosynthetic Pigments, Gas Exchange, and Photochemical Efficiency of Sour Passion Fruit Genotypes. **Plants**, v. 12, n. 22, p.3894, 2023.

Pereira, M.B., Nóbrega, J.S., de Fátima, R.T., de Queiroz Lopes, M.D.F., Ferreira, J.T.A., da Silva Ribeiro, J.E., dos Anjos Soares, L.A. Effect of saline stress, and nitrogen and potassium fertilization on morphophysiology of *Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Dreg. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 19, n. 2, p.e3696, 2024.

Pessoa, L.G., Freire, M.B.S., Green, C.H., Miranda, M.F., de A Filho, J.C., Pessoa, W.R. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 141, p. 109139, 2022.

Phogat, V., Pitt, T., Cox, J.W., Šimůnek, J., Skewes, M.A. Soil water and salinity dynamics under sprinkler irrigated almond exposed to a varied salinity stress at different growth stages. **Agricultural Water Management**, v. 201, p.70-82, 2018.

Pour-Aboughadareh, A., Mehrvar, M.R., Sanjani, S., Amini, A., Nikkhah-Chamanabad, H., Asadi, A. Effects of salinity stress on seedling biomass, physiochemical properties, and grain yield in different breeding wheat genotypes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 43, n. 7, p. 98, 2021.

Punia, H., Tokas, J., Malik, A., Singh, S., Phogat, D.S., Bhuker, A., Sheokand, R.N. Discerning morpho-physiological and quality traits contributing to salinity tolerance acquisition in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **South African Journal of Botany**, v. 140, p. 409-418, 2021.

Qiu, Y., Fan, Y., Chen, Y., Hao, X., Li, S., & Kang, S. Response of dry matter and water use efficiency of alfalfa to water and salinity stress in arid and semiarid regions of Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 254, p.106934, 2021.

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.

Raggi, L., Caproni, L., Ciancaleoni, S., D'Amato, R., Businelli, D., Negri, V. Investigating the genetic basis of salt-tolerance in common bean: a genome-wide association study at the early vegetative stage. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p.5315, 2024.

Rasband, W.S., **ImageJ**, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.net/ij/>, 1997-2018.

Rasel, M., Tahjib-ul-arif, M., Hossain, M.A., Hassan, L., Farzana, S., Brestic, M. Screening of salt-tolerant rice landraces by seedling stage phenotyping and dissecting biochemical determinants of tolerance mechanism. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p.1853-1868, 2021.

Rodrigues-Filho, R.A., Nobre, R.G., Santos, A.S., Teixeira, A.D.S., Ferreira, A.P.N., Soares, L.A. A., Araújo, K.F.P. Morphology of ‘Crioula’ guava seedlings under irrigation with increasing salinity water and nitrogen/potassium fertilization. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p.e275322, 2023.

Roşca, M., Mihalache, G., Stoleru, V. Tomato responses to salinity stress: From morphological traits to genetic changes. **Frontiers in plant science**, v. 14, p.1118383, 2023.

Roshdy, A.E.D., Alebidi, A., Almutairi, K., Al-Obeed, R., Elsabagh, A. The effect of salicylic acid on the performances of salt stressed strawberry plants, enzymes activity, and salt tolerance index. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p.775, 2021.

Sacramento, B.L., Cruz, T.S., Silva, L.L., Mota, K.N.A.B., de Azevedo Neto, A.D. Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. **Encic. Biosf.** v. 10, p.33-54, 2014.

Santos, I.S., Lima, L.K.S., Sampaio, S.R., Soares, T.L., Jesus, O.N. Genetic parameters and prediction of genotypic values in a segregating population of *Passiflora* BC3 [(*P. edulis* x *P. cincinnata*) x *P. edulis*] for fruit quality and resistance to cowpea aphid-borne mosaic virus using REML/BLUP. **Scientia Horticulturae**, v. 330, p.113023, 2024a.

Santos, I. S., Jesus, O.N., Sampaio, S.R., Gonçalves, Z.S., Soares, T.L., de Santana Ferreira, J.R., Lima, L.K.S. Salt tolerance strategy in passion fruit genotypes during germination and seedling growth and spectrophotometric quantification of hydrogen peroxide (H₂O₂). **Scientia Horticulturae**, v. 338, p.113818, 2024b.

Santos, I.S., Jesus, O.N., Silva Fiuza Junior, F.J., Coelho Filho, M.A., Santana, J.R.F., Lima, L.K.S. Determination of the Critical Level of Saline Stress in Yellow Passion Fruit Seedlings with Two Phenological Phases. **Journal of Plant Growth Regulation**, p.1-17, 2025.

Seymen, M., Yavuz, D., Eroğlu, S. *et al.* Effects of Different Levels of Water Salinity on Plant Growth, Biochemical Content, and Photosynthetic Activity in Cabbage Seedling Under Water-Deficit Conditions. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, p.871–884, 2023.

Sivakumar, J., Prashanth, J.E.P., Rajesh, N., Reddy, S.M., Pinjari, O.B. Principal component analysis approach for comprehensive screening of salt stress-tolerant tomato germplasm at the seedling stage. **Journal of biosciences**, v. 45, p.1-11, 2020.

Soares, T. L., de Jesus, O. N., de Souza, E.H., Oliveira, E.J. Reproductive biology and pollen–pistil interactions in *Passiflora* species with ornamental potential. **Scientia Horticulturae**, v. 197, p.339-349, 2015.

Souto, L.A.G., Cavalcante, L.F., Melo, E.N., Cavalcante, Í.H.L., Silva, R.Í.L., Lima, G.S., Oliveira Mesquita, F. Salinity and mulching effects on nutrition and production of grafted sour passion fruit. **Plants**, v. 12, p.1035, 2023.

Souza, G.L.D., Nascimento, A.P., Silva, J.D.A., Bezerra, F.T., Silva, R.Í.D., Cavalcante, L.F., Mendonça, R.M. Growth of wild passion fruit (*Passiflora foetida* L.) rootstock under irrigation water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 114-120, 2022.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal**, six ed. Artmed, Porto Alegre, 2021.

Talakayala, A., Jupally, Y., Asinti, S., Mekala, G. K., Kirti, P. B., & Sharma, I. Differences in the regulation of ion imbalance in response to high Na⁺ load hint at differential strategies for salt-tolerance in mungbean genotypes (*Vigna radiata* L.). **Plant Growth Regulation**, v. 105, n. 1, p.89-109, 2025.

Tao, R., Ding, J., Li, C., Zhu, X., Guo, W., Zhu, M. Avaliação e triagem de índices agrofisiológicos para tolerância ao estresse salino em trigo no estágio de muda. **Front. Plant Sci.**, v. 12, p.646175, 2021.

Wang, H., Takano, T., LIU, S. Screening and evaluation of saline–alkaline tolerant germplasm of rice (*Oryza sativa* L.) in soda saline–alkali soil. *Agronomy*, v. 8, n. 10, p. 205, 2018.

Wu, H. Plant salt tolerance and Na⁺ sensing and transport. **The Crop Journal**, v. 6, p.215-225, 2018.

Zafar, M. M., Razzaq, A., Chattha, W. S., Ali, A., Parvaiz, A., Amin, J., Jiang, X. Investigation of salt tolerance in cotton germplasm by analyzing agro-physiological traits and ERF genes expression. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p.11809, 2024.