

ANNY KAROLINNY DE FRANÇA SOARES

**RELAÇÕES ENTRE A SALINIDADE DO MEIO DE GERMINAÇÃO E A
PRODUÇÃO DE ÁCIDO ABCÍSIKO E ETILENO EM SEMENTES DE
AMENDOIM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Dimas Mendes Ribeiro

Coorientador: Agustin Zsögön

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S676r
2024
Soares, Anny Karolinny de França, 1999-
Relações entre a salinidade do meio de germinação e a
produção de ácido abscísico e etileno em sementes de amendoim
/ Anny Karolinny de França Soares. – Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (55 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Dimas Mendes Ribeiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Biologia Vegetal, 2024.

Referências bibliográficas: f. 46-55.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.540>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Arachis hypogaea*. 2. Amendoim - Sementes - Efeito da
salinidade. 3. Solos - Salinidade. 4. Hormônios vegetais.
I. Ribeiro, Dimas Mendes, 1977-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Biologia Vegetal. Programa de
Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. III. Título.

CDD 22. ed. 635.6596

ANNY KAROLINNY DE FRANÇA SOARES

**RELAÇÕES ENTRE A SALINIDADE DO MEIO DE GERMINAÇÃO E A
PRODUÇÃO DE ÁCIDO ABCÍSIKO E ETILENO EM SEMENTES DE
AMENDOIM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de agosto de 2024

Assentimento:

Anny Karolinny de França Soares
Autora

Dimas Mendes Ribeiro
Orientador

Aos meus pais e irmã por todo amor e incentivo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me abençoar, me fortalecer e me guiar em todas etapas da minha vida.

Aos meus pais Antônio e Iraide por todo amor, cuidado, esforço, confiança e por estarem presentes e me apoiando em todos os momentos da minha vida.

A minha irmã Arianny por todo amor, companheirismo, por ser abrigo e por acreditar em mim.

Ao Professor Dimas Mendes Ribeiro pela orientação, conselhos, oportunidade, pelo apoio e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador Agustin Zsögön pelas contribuições ao trabalho.

Ao professor Wagner Araújo e a doutora Thaline Pimenta pela participação na banca e sugestões ao trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal pelo suporte para a realização deste trabalho e pela oportunidade de realizar meu mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos. Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Aos meus tios e primos por todo amor, força e pelas orações durante meu mestrado.

Ao meu namorado Tiago por todo amor, parceria, incentivo e por acreditar em mim.

Ao meu amigo Victor pela parceria, apoio e por sempre me ajudar.

Aos amigos do Laboratório de Crescimento e Desenvolvimento de Plantas, Lubia, Carla, Johana, Janaína, Camila, Genaina, Victor e Thiago, pelos bons momentos compartilhados, pela amizade e disposição de me ajudar sempre.

Aos meus amigos da pós graduação e a todos os outros.

A todos aqueles que contribuíram para realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

SOARES, Anny K. de F., M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Agosto de 2024. **Relações entre a salinidade do meio de germinação e a produção de ácido abscísico e etileno em sementes de amendoim.** Orientador: Dimas Mendes Ribeiro. Coorientador: Agustin Zsögön

A germinação das sementes é uma etapa crítica no ciclo de vida das plantas que determina o estabelecimento e crescimento das plântulas. O ácido abscísico (ABA) e o etileno regulam o metabolismo primário, influenciando o potencial de crescimento do embrião. No entanto, o papel do ABA e do etileno na germinação ainda é pouco compreendido no estabelecimento de plântulas e no efeito de viviparidade em amendoim (*Arachis hypogaea* L.) sob condições de estresse salino. Assim, o presente estudo objetivou investigar os efeitos da salinidade na germinação das sementes, no desenvolvimento de plântulas e na ocorrência de viviparidade em amendoim, examinando suas relações com a rota de biossíntese do etileno e do ABA. Para isso foram utilizadas sementes de amendoim, cultivares 'IAPAR25' e 'Tatu-53'. As sementes receberam diferentes soluções para o teste de germinação e foram mantidas em incubação no escuro, em câmara de crescimento. Os metabólitos, o ABA, etileno e ACC foram quantificados. As sementes também foram semeadas em vasos, em casa de vegetação, onde receberam solução salina e foram avaliadas a sensibilidade das plântulas à salinidade e o efeito do sal no controle da viviparidade nas sementes do amendoim. O NaCl à 200 mM foi o que causou maior inibição da germinação das sementes de ambas cultivares estudadas. O aumento da concentração de NaCl promoveu diminuição da produção de etileno pelas sementes da cultivar (cv.) IAPAR25, enquanto a concentração de ABA não foi afetada. Nas sementes da cv. Tatu-53 a produção de etileno não foi alterada, mas incrementos na concentração de ABA ocorreram com o aumento da concentração do NaCl no meio de germinação. Foi observada uma redução na concentração de ACC nas sementes da cv. IAPAR25 nos tratamentos com NaCl → NaCl e NaCl → AVG, mas a concentração de ABA se manteve estável nos tecidos das sementes sob aqueles tratamentos. Na cv. Tatu-53 houveram alterações tanto do ACC quanto do ABA entre os tratamentos. Não foram verificados efeitos inibitórios nas sementes das cultivares IAPAR25 e Tatu-53 que receberam solução de NaCl + ACC e NaCl + fluridona, respectivamente. Nas sementes da cv. IAPAR25 o tratamento NaCl → AVG promoveu maior redução de proteínas, já nas sementes da cv. Tatu-53 esse mesmo tratamento resultou em aumento na concentração de proteínas. Os tratamentos NaCl → AVG e NaCl → Fluridona reduziram significativamente a concentração de aminoácidos nas sementes de ambas cultivares. Houve uma redução dos

açúcares totais na cv. Tatu-53 entre os tratamentos testados, enquanto na cv. IAPAR25 os níveis de açúcares totais se mantiveram. No geral, o desenvolvimento das plântulas de ambas cultivares foi pouco afetado pelo tratamento com solução de NaCl, às concentrações de 100, 150, e 200 mM. Interessantemente, o tratamento das plantas de ambas as cultivares com solução de NaCl, à concentração de 50 mM, reduziu a ocorrência de viviparidade nas sementes. Tomados em conjunto, os resultados aqui obtidos indicam que o etileno e o ABA regulam o processo de germinação do amendoim em condições de estresse salino exercendo influência sobre as cultivares estudadas de formas distintas. Embora o NaCl tenha pouco impacto no desenvolvimento das plântulas de amendoim de ambas cultivares, o NaCl apresenta potencial para inibir o processo de viviparidade no amendoim.

Palavras-chave: Estresse salino; *Arachis hypogaea* L.; Hormônios.

ABSTRACT

SOARES, Anny K. de F., M.Sc., Federal University of Viçosa, August 2024. **Relationships between the salinity of the germination medium and the production of abscisic acid and ethylene in peanut seeds.** Advisor: Dimas Mendes Ribeiro. Co-advisor: Agustin Zsögön

Seed germination is a critical stage in the plant life cycle that determines seedling establishment and growth. Abscisic acid (ABA) and ethylene regulate primary metabolism, influencing embryo growth potential. However, the role of ABA and ethylene in germination is still poorly understood in seedling establishment and viviparity effects in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under salt stress conditions. Thus, the present study aimed to investigate the effects of salinity on seed germination, seedling development and viviparity in peanut, examining their relationships with the ethylene and ABA biosynthesis pathway. Peanut seeds of cultivars 'IAPAR25' and 'Tatu-53' were used for this purpose. The seeds received different solutions for the germination test and were kept in incubation in the dark, in a growth chamber. The metabolites ABA, ethylene and ACC were quantified. The seeds were also sown in pots in a greenhouse, where they received saline solution and the sensitivity of the seedlings to salinity and the effect of salt on the control of viviparity in peanut seeds were evaluated. NaCl at 200 mM caused the greatest inhibition of seed germination of both cultivars studied. The increase in NaCl concentration promoted a decrease in ethylene production by the seeds of the cultivar (cv.) IAPAR25, while the ABA concentration was not affected. In the seeds of cv. Tatu-53, ethylene production was not altered, but increases in ABA concentration occurred with the increase in NaCl concentration in the germination medium. A reduction in ACC concentration was observed in the seeds of cv. IAPAR25 in the treatments with NaCl → NaCl and NaCl → AVG, but the ABA concentration remained stable in the seed tissues under those treatments. In cv. Tatu-53 showed changes in both ACC and ABA between treatments. No inhibitory effects were observed in the seeds of cultivars IAPAR25 and Tatu-53 that received NaCl + ACC and NaCl + fluridone solutions, respectively. In the seeds of cv. IAPAR25, the NaCl → AVG treatment promoted a greater reduction in proteins, while in the seeds of cv. Tatu-53, this same treatment resulted in an increase in protein concentration. The NaCl → AVG and NaCl → Fluridone treatments significantly reduced the concentration of amino acids in the seeds of both cultivars. There was a reduction in total sugars in cv. Tatu-53 among the treatments tested, while in cv. IAPAR25 the total sugar levels remained the same. In general, the seedling

development of both cultivars was little affected by treatment with NaCl solution at concentrations of 100, 150, and 200 mM. Interestingly, treatment of both cultivars with a 50 mM NaCl solution reduced the occurrence of viviparity in the seeds. Taken together, the results obtained here indicate that ethylene and ABA regulate the peanut germination process under saline stress conditions, influencing the cultivars studied in different ways. Although NaCl has little impact on the development of peanut seedlings of both cultivars, NaCl has the potential to inhibit the viviparity process in peanut.

Keywords: Salt stress; *Arachis hypogaea* L.; hormones.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABA = Ácido abscísico

ACC = Ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico

ACO = Oxidase do ACC

ACS = Sintase do ACC

AVG = Aminoetoxivinilglicina

C = Carbono

ETR = Ethylene Receptor

N = Nitrogênio

NaCl = Cloreto de sódio

NCED/STO1 = 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase3/salt tolerant1

PEG = Polietilenoglicol

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. HIPÓTESE.....	16
3. OBJETIVO	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1. Material vegetal e condições de cultivo.....	16
4.2. Condução dos experimentos de germinação	16
4.3. Inibição da germinação pelo NaCl	17
4.4. Quantificação do ABA.....	17
4.5. Quantificação do etileno	18
4.6. Quantificação do ACC.....	19
4.7. Reversão do efeito do NaCl.....	19
4.8. Avaliação do efeito do NaCl e quantificação do Na.....	20
4.9. Determinação de metabólitos.....	20
4.10. Sensibilidade das plântulas ao NaCl	21
4.11. Efeito de viviparidade.....	21
4.12. Delineamento experimental	22
5. RESULTADOS	22
6. DISCUSSÃO	37
7. CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) possui origem na América do Sul e pertence à família Fabacea (Ozias; Breiteneder, 2019; Zhou et al., 2022). Apresenta grãos de alto valor nutricional com rica composição em lipídios (48–50%), proteínas (25–28%), carboidratos (10–20%), vitaminas, minerais, antioxidantes, polifenóis e flavonóides (Bigatton et al., 2022; Hamza et al., 2021; Xie et al., 2022). É uma leguminosa de grande importância socioeconômica, ocupa a 13ª posição como cultura alimentar mais relevante e a 3ª como cultura de oleaginosas de maior importância econômica (Kadirimangalam et al., 2022; Li et al., 2022), especialmente na produção agrícola da América, África e Ásia (Meng et al., 2022). Em 2022, a produção mundial do amendoim foi aproximadamente 50 milhões de toneladas; a China é o maior produtor mundial de amendoim, com produção anual total de 18 milhões de toneladas. Por outro lado, o Brasil é o 13ª maior produtor mundial, com uma produção de 750 mil toneladas (USDA, 2022). O estado de São Paulo é o principal produtor sendo responsável por cerca de 90% da produção nacional (CONAB, 2022).

Embora o amendoim se adapte bem aos diversos climas encontrados no Brasil, requer uma estação quente e úmida para o bom crescimento da planta (EMBRAPA, 2017). As plantas de amendoim demonstram uma considerável tolerância à seca, sendo não recomendado para áreas com estações úmidas muito prolongadas, pois isso pode aumentar a propagação de doenças (EMBRAPA, 2017). Ademais, o amendoim é uma cultura moderadamente tolerante a salinidade (Li et al., 2024). Neste contexto, a salinidade diminui a germinação das sementes, o crescimento e a produção do amendoim (Meena et al., 2016). Embora tenham sido feitos esforços consideráveis no passado para desenvolver cultivares de amendoim tolerantes a salinidade, o sucesso foi muito limitado, principalmente devido à falta de compreensão dos principais mecanismos de tolerância a salinidade nesta cultura (Moretzsohn et al 2004). Assim,

permanece a lacuna sobre as ações do estresse salino no controle da germinação de sementes e no crescimento das plântulas de amendoim.

O amendoim apresenta grupos de diferentes tipos botânicos, como o Spanish, Valência e Virgínia, sendo esses dois últimos os mais cultivados comercialmente no Brasil (Santos et al., 1997). O tipo Virgínia apresenta ciclo longo, ramificação densa, sementes grandes e de cor bege; a CNPA 52 AM, CNPA 53 AM e CNPA 125 AM são algumas das cultivares desse grupo (Santos et al., 1997). Já o tipo Valência é caracterizado por seu ciclo curto, porte ereto e sementes com tegumento de coloração vermelha e de tamanho médio (Santos et al., 1997). Dentro desse grupo estão as cultivares BR-1, IAC POITARA, BRS Havana, TATU, dentre outras (EMBRAPA, 2009; Santos et al., 1997). A cultivar (cv.) IAPAR25 também apresenta porte ereto e ciclo curto, mas seu tegumento se diferencia por possuir coloração preta (Fachin et al., 2014, Ribeiro, 2013). Uma vez que, no Brasil, o amendoim das cultivares Tatu-53 e IAPAR25 são cultivados principalmente em solos com baixa fertilidade e com problemas de salinidade (Embrapa, 2007), o entendimento dos mecanismos de ação do estresse salino na germinação e desenvolvimento das plântulas ajudaria a expandir área de cultivo do amendoim em solos salinos não tradicionais.

O rendimento de uma cultura agrícola é influenciado por diversos fatores, incluindo a qualidade fisiológica das sementes. As sementes desempenham um papel crítico no ciclo de vida das plantas, sendo fundamentais para a geração subsequente de plantas, a preservação do germoplasma, a ampliação da diversidade de espécies e a otimização da capacidade de produção (Nazari; Eteghadipour, 2017). O processo fisiológico de germinação começa com a absorção de água e culmina no desenvolvimento do eixo embrionário, um evento caracterizado pela protrusão da radícula (Bewley e Black, 1994). A germinação das sementes é regulada por hormônios e demanda condições ambientais específicas (Garcia, Barreto e Bicalho, 2020). Neste contexto, o etileno pode quebrar a dormência fisiológica das sementes (Wattanakulpakin,

Thongsri e Sattayasamitsathit, 2022) e tem-se mostrado essencial para a germinação de diversas espécies, como *Stylosanthes humilis* (Silva et al., 2018), *Medicago sativa* (Wang et al., 2020), *Arabidopsis thaliana* (Wilson et al., 2014) e *Arachis hypogaea* (Whitehead e Nelson, 1992). O requerimento por etileno foi demonstrado pela inibição da germinação de sementes não-dormentes por inibidores da síntese do etileno, como a aminoetoxivinilglicina (AVG) e íons cobalto (Silva et al., 2018). Além de o etileno contribuir para a germinação das sementes de diversas espécies, tem-se proposto que a produção desse regulador gasoso durante os processos de embebição pode antagonizar a inibição da germinação promovida por estresses abióticos, tais como, alta temperatura, metais pesados e salinidade (Cebrián et al., 2021; Nascimento et al., 2008; Silva et al., 2014; Thao et al., 2015; Wang et al., 2020).

A salinidade é um estresse limitante a produção agrícola mundial, acometendo cerca de 20% das terras cultiváveis do mundo (Arora, 2019). No Brasil, a salinidade do solo é um problema presente principalmente nas regiões de clima semiárido (Silva et al., 2021). Os efeitos prejudiciais da salinização nas plantas são devidos a efeitos negativos no crescimento resultantes de alterações ou inibição de processos bioquímicos e fisiológicos (Shahid et al., 2020). O estresse salino reduz a germinação de sementes de amendoim, comprometendo, assim, o desenvolvimento das plantas e a produção do amendoim (Deshev, Desheva e Stamatov, 2020). Tais efeitos estão relacionados à redução do potencial osmótico da solução do solo, que retarda a absorção de água pelas sementes e, conseqüentemente, afeta o desenvolvimento e estabelecimento das plântulas em campo (Catão et al., 2020). Em adição, o estresse salino pode elevar a produção de espécies reativas de oxigênio durante o processo de embebição inibindo a germinação das sementes (Lin et al., 2013), bem como causar toxicidade iônica no embrião das sementes, alterar a síntese de proteínas e a biossíntese e sinalização de hormônios tais como etileno e ABA (Arif et al., 2020; Silva et al., 2018).

Em solos salinos, a toxicidade do íon sódio é o principal fator limitante do crescimento vegetal, sendo inicialmente caracterizado por uma diminuição do crescimento radicular (Dinneny, 2019). Entretanto, o etileno pode influenciar positivamente a tolerância de plantas de *Arabidopsis* ao estresse salino (Yu et al., 2020). Ademais, a habilidade das sementes de *Stylosanthes* em produzir etileno conferiu resistência ao estresse salino durante o processo de germinação (Silva et al 2014). Wilson et al (2014) sugeriram que diferentes receptores de etileno como ETR (*Ethylene Receptor*) 1 e ETR2 interferem na sensibilidade ao ABA acelerando ou retardando o processo de germinação de sementes de *Arabidopsis* em condições de estresse salino.

O estresse salino inibe a germinação de sementes de *Arabidopsis* regulando a concentração de ABA por meio de alterações na expressão do gene *9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase3/salt tolerant1 (NCED/STO1)* (Waadt et al., 2022). Por outro lado, o etileno promove a germinação de sementes de *Arabidopsis* e outras espécies ao impedir a ação do ABA (Linkies et al., 2009; Silva et al., 2018). Além disso, a atividade das duas principais enzimas da biossíntese do etileno, sintase do ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACS) e oxidase do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACO), é regulada pelo estresse salino (Silva et al., 2018; Waadt et al., 2022). O mutante *acs7* de *Arabidopsis* mostrou uma redução na produção de etileno, acompanhada por um aumento significativo na concentração de ABA, o que resultou em uma menor germinação sob condições de estresse salino (Dong et al., 2011). Dessa forma, o estresse salino altera as concentrações de ABA e etileno (Silva et al., 2018) e o equilíbrio entre esses dois hormônios desempenha, provavelmente, um papel importante na modulação da germinação de sementes sob estresse salino. O impacto do estresse salino na biossíntese do ABA e etileno é confirmado pela reversão dos efeitos inibitórios do NaCl sobre a germinação de sementes *Stylosanthes humilis* por solução do ácido 1-aminociclopropano-1-

carboxílico (ACC), precursor imediato do etileno, ou fluridona, inibidor da biossíntese do ABA (Silva et al., 2018).

A importância do ABA no controle da germinação de sementes em ambientes salinos foi demonstrada pelo uso de mutantes de *Arabidopsis* com biossíntese de ABA alterada (González-Guzman et al., 2002). O ABA também é importante durante a maturação das sementes, ele favorece a síntese de proteínas de armazenamento, prevenindo o aborto das sementes e induz a dormência primária, inibindo a ocorrência de viviparidade das sementes (Sano; Marion-Poll, 2021). Assim, a deficiência de ABA durante a formação do embrião e na fase de maturação da semente pode levar a ocorrência de viviparidade, prejudicando a produção das culturas (Wang et al., 2021). O ABA participa da interpretação de sinais do ambiente tais como estresse hídrico e salino, pelas sementes e plantas, bem como a relação C/N é mediada por uma via de sinalização de ABA não canônica (Lu, Yamaguchi, Sato, 2015). Portanto, é pertinente destacar que o metabolismo do carbono e do nitrogênio nas plantas também é afetado pela sensibilidade ao estresse salino (Silva et al., 2018).

O estresse salino promove mudanças nas concentrações de intermediários do ciclo do ácido tricarboxílico, açúcares e aminoácidos em sementes e plantas, desempenhando um papel importante na manutenção da homeostase metabólica sob concentrações crescentes de NaCl (Li et al., 2017; Silva et al., 2018). Além disso, diferenças no perfil metabólico em grãos de diferentes cultivares de cevada sob estresse salino em comparação ao controle foram observadas por Derakhshani, Bhave e Xá (2020), evidenciando uma alteração no desenvolvimento dos grãos em decorrência da salinidade. A tolerância das culturas à salinidade apresenta variações não apenas entre diferentes espécies como entre cultivares, genótipos e acessos dentro da mesma espécie (SÁ et al., 2020). Entretanto, ainda é pouco compreendido acerca do papel específico do estresse salino na coordenação do metabolismo primário e dos níveis de ABA e etileno durante a germinação de diferentes cultivares de amendoim e como isso afeta a

regulação do estabelecimento de plântulas e o efeito de viviparidade. Portanto, este trabalho buscou investigar os impactos da salinidade no processo de germinação de sementes, no crescimento inicial de plântulas e na ocorrência de viviparidade em *Arachis hypogaea* L., investigando suas interações com as vias de biossíntese do etileno e do ABA.

2. HIPÓTESE

O estresse salino altera a biossíntese de ABA e a produção de etileno em sementes de amendoim para mediar o processo de germinação.

3. OBJETIVO

Determinar os efeitos da salinidade na germinação de sementes, no desenvolvimento de plântulas de *Arachis hypogaea* L. e avaliar a ocorrência de viviparidade, examinando-se suas relações com a rota de biossíntese do etileno e do ABA.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Material vegetal e condições de cultivo

O experimento foi conduzido em condições de laboratório e em casa de vegetação, na Universidade Federal de Viçosa (20° 45' S, 42° 15' W, 650 m altitude), em Viçosa, Minas Gerais. Para realização dos experimentos foram utilizadas sementes de amendoim cv. IAPAR25 e cv. Tatu-53.

4.2. Condução dos experimentos de germinação

Os frutos foram debulhados e as sementes tratadas com solução de hipoclorito de sódio 0,5% (v/v), por dez minutos, e lavadas abundantemente com água destilada. Subsequente, as sementes foram secas com papel absorvente e transferidas para placas de Petri de vidro (90 mm

de diâmetro) ou frascos Erlenmeyer (125 mL), contendo ao fundo duas camadas de papel de filtro Whatman nº 1. As placas de Petri ou frascos Erlenmeyer com 25 sementes cada, receberam 12 mL das soluções-teste e foram mantidas no escuro, em câmara de crescimento noite/dia (Forma Scientific Inc, Ohio, USA), a 25 °C. A protrusão da radícula (0,3 a 0,5 mm) foi o critério adotado para considerar-se a semente como germinada.

4.3. Inibição da germinação pelo NaCl

Para investigar os efeitos do NaCl na inibição da germinação, as sementes foram embebidas com água destilada (controle) ou solução de NaCl às concentrações de 100, 150 ou 200 mM. A germinação foi determinada 4, 8, 12, 24, 30, 48 e 72 h após a incubação das sementes. Após o terceiro dia de incubação, as sementes que não germinaram foram lavadas com água destilada e colocadas em outras placas de Petri contendo água destilada. Em seguida, foram submetidas a incubação por 24 h para posterior avaliação da toxicidade dos íons sobre a germinação.

Ao final do experimento, o número de sementes germinadas foi registrado, para inferir-se sobre a condição de vitalidade das sementes. A concentração considerada ótima foi a que promoveu a maior taxa de inibição da germinação sem ocasionar a perda da vitalidade das sementes, sendo a concentração de 200 mM a selecionada para os ensaios seguintes.

4.4. Quantificação do ABA

Para quantificação do ABA foram realizados dois experimentos. No primeiro experimento as sementes foram colocadas em placas de Petri com duas camadas de papel de filtro e incubadas com 12 ml de água destilada (controle) ou solução de NaCl (100, 150 ou 200 mM) por 48 h. No segundo outras sementes de amendoim foram tratadas com água destilada ou solução de NaCl (200 mM) e mantidas no escuro em câmara de crescimento noite/dia, a 25

°C, pelo período de 12 h. Posteriormente, as sementes foram lavadas e transferidas para outras placas contendo as seguintes soluções após seta: água destilada→água destilada (controle), NaCl→água destilada, NaCl→NaCl, NaCl→AVG (0,1 mM) e NaCl→fluridona (0,1 mM), continuando a incubação por mais 72 h. Ao final do período de incubação as sementes foram imersas em nitrogênio líquido e estocadas em freezer a -80 °C até análise. O ABA foi extraído, purificado e quantificado segundo técnica descrita por Muller e Munné-Bosch (2011), com algumas modificações. A extração foi realizada em meio contendo metanol, H₂O, ácido fórmico (15:4:1) e [³H] ABA 20.000 dpm para quantificação das perdas. O extrato foi centrifugado a 10000 g, por 10 min, a 4 °C, e o sobrenadante foi utilizado para a quantificação do ABA por cromatografia líquida de ultra performance (UPLC) acoplado ao espectrômetro de massa com analisador do tipo triplo quadrupolo (QqQ).

4.5. Quantificação do etileno

Para quantificação do etileno as sementes foram colocadas em frascos Erlenmeyer (125 mL) com duas camadas de papel de filtro e foram tratadas conforme os dois experimentos descritos no tópico acima. O etileno emanado foi quantificado seguindo-se a técnica descrita por Saltveit-Júnior e Yang (1987). Amostras de 1,0 mL da atmosfera livre dos frascos Erlenmeyer foram coletadas com o auxílio de seringas vedadas ao ar de 1,0 mL de volume livre. A atmosfera interna dos frascos foi ocasionalmente homogeneizada utilizando-se de uma seringa de 3,0 mL, provida com agulha longa. As amostras foram injetadas em cromatógrafo a gás Hewlett-Packard 5890, série II, equipado com um detector de ionização de chama e uma coluna de aço inoxidável (1,0 m x 6,0 mm), empacotada com Porapak-N (80-100 mesh). O gás de arraste foi o dinitrogênio, em fluxo de 30 mL min⁻¹; os fluxos do hidrogênio e do ar foram mantidos em 30 e 320 mL min⁻¹, respectivamente. As temperaturas da coluna, do injetor e do detector foram mantidas em 60, 110 e 150 °C, respectivamente. A quantificação do etileno foi

feita comparando-se as áreas das amostras obtidas em Software (Peak Simple II, versão 3.92) acoplado ao cromatógrafo a gás, com áreas de picos de uma mistura padrão de etileno de concentração conhecida.

4.6. Quantificação do ACC

Amostras de 25 sementes foram incubadas em placas de Petri (90 mm de diâmetro), contendo ao fundo dois discos de papel de filtro Whatman nº 1 com água destilada ou solução de NaCl (200 mM) e mantidas no escuro em câmara de crescimento noite/dia, a 25 °C, pelo período de 12 h. Posteriormente, as sementes foram lavadas e transferidas para outras placas contendo as seguintes soluções após seta: água destilada→água destilada (controle), NaCl→água destilada, NaCl→NaCl, NaCl→AVG (0,1 mM) e NaCl→fluridona (0,1 mM), continuando a incubação por mais 72 h. Ao final do período de incubação, as sementes foram lavadas com água destilada, secas com papel absorvente, pesadas e imersas em nitrogênio líquido e, então, estocadas em freezer a -80 °C. As concentrações de ACC livre nas sementes foram quantificadas conforme descrito por Bulens et al. (2011).

4.7. Reversão do efeito do NaCl

Para avaliar se o NaCl proporciona redução na germinação por inibir a biossíntese de etileno, as sementes foram expostas a soluções de NaCl 200 mM e NaCl + ACC (promotor do etileno) à concentração de 0,1 mM. A associação causal entre a inibição da germinação provocada pela salinidade e pela indução da biossíntese de ABA foi examinada tratando-se as sementes com solução de NaCl 200 mM + fluridona (inibidor do ABA) à concentração de 0,1 mM. A germinação foi registrada 6, 12, 24, 36, 48 e 72 h após incubação das sementes.

4.8. Avaliação do efeito do NaCl e quantificação do Na

Para avaliar o efeito do estresse osmótico sobre o processo de germinação, sementes de amendoim foram expostas a solução de polietilenoglicol 6000 (PEG) formulada com potencial osmótico idêntico ao da solução de NaCl (-0,86), por 72 h. Após o período de incubação, as sementes foram lavadas em água destilada, secas em estufa a 50 °C por 24 h e maceradas. Para quantificar os níveis de sódio as amostras foram submetidas a uma digestão nítrico-perclórico (65% e 70%), seguido de análise em um espectrofotômetro de emissão ótica em plasma induzido (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 3000 DV).

4.9. Determinação de metabólitos

O ABA e o etileno inibe e induz o metabolismo primário, respectivamente, podendo afetar o processo de germinação das sementes (Silva et al., 2018). Para verificar a influência dos tratamentos na germinação das sementes, açúcares solúveis, proteínas e aminoácidos totais foram determinados. Amostras de 25 sementes foram incubadas em placas de Petri com água destilada ou solução de NaCl (200 mM) e mantidas no escuro em câmara de crescimento noite/dia, a 25 °C, pelo período de 12 h. Em seguida, as sementes foram lavadas e transferidas para outras placas contendo as seguintes soluções após seta: água destilada→água destilada (controle), NaCl→água destilada, NaCl→NaCl, NaCl→AVG (0,1 mM) e NaCl→fluridona (0,1 mM), continuando a incubação por mais 72 h. Posteriormente, foram lavadas, congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas a -80 °C, até análise.

Uma fração (50 mg) das amostras maceradas foi colocada em eppendorfs de 2 mL, e foi acrescentado 700 µL de metanol e submetidas a agitação vigorosa. Posteriormente os eppendorfs foram levados ao Termomix à 80 °C por 20 minutos e centrifugados a 13000 g por 15 minutos. Na fração solúvel em metanol, foi determinado os níveis de açúcares solúveis e aminoácidos totais. Os sobrenadantes foram recolhidos em novos eppendorfs e lavados com

375 µL de clorofórmio e 750 µL de água miliq e centrifugados a 13000 g, a 4 °C, por 15 minutos. O conteúdo de aminoácidos totais foi quantificado de acordo com Gibon et al. (2006). Em uma microplaca foi adicionado 25 µL do extrato etanólico, 25 µL de metanol 70%, 50 µL de tampão citrato pH 5,2 acrescidos de ácido ascórbico 0,2% (p/v) e 100 µL de ninhidrina 1% (p/v) em metanol 70% (v/v), em cada poço. A microplaca foi incubada no escuro por 20 minutos a 95°C e centrifugada por 15 segundos a 12800 g.

Posteriormente, foi feita a leitura da placa no comprimento de onda de 570 nm. Para a determinação de aminoácidos totais foi feita uma curva de calibração utilizando leucina como padrão. Glicose, frutose e sacarose foram determinadas usando-se um ensaio de substrato enzimático contínuo (Cross et al., 2006). Para a determinação de proteínas totais foi utilizado a técnica de Bradford (1976), com algumas modificações (Ramagli & Rodriguez, 1985).

4.10. Sensibilidade das plântulas ao NaCl

As sementes foram semeadas em vasos de 1 L contendo substrato comercial Tropstrato HT[®], em casa de vegetação. Foram utilizadas seis sementes por vaso e um vaso para cada tratamento. Após o surgimento das folhas verdadeiras, as plântulas receberam 50 ml de solução de NaCl nas concentrações de 100, 150 ou 200 mM, duas vezes por semana. Após três semanas de aplicações das soluções, as plântulas foram colhidas e mediu-se o comprimento da parte aérea e das raízes e o número de folhas foi contabilizado. Em seguida, o material foi posto em estufa de circulação forçada, a 70 °C, até atingir peso constante. Posteriormente, a massa seca da parte aérea e raízes foram determinadas.

4.11. Efeito de viviparidade

As sementes foram semeadas em vasos de 10 L contendo a mistura de solo + substrato comercial Tropstrato HT[®], na proporção de 1:2, em condições de casa de vegetação. Foram

semeadas três sementes por vaso com cinco repetições por tratamento. As plantas foram irrigadas com solução salina (NaCl 50 mM) uma vez por semana. Ao final do ciclo da cultura, os frutos foram colhidos e foi avaliada a porcentagem de frutos germinados e não germinados, o peso seco das raízes, parte aérea e dos frutos também foi determinado.

4.12. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Para o experimento “sensibilidade das plântulas” a unidade experimental foi composta por um vaso de 1 L por tratamento contendo 6 plântulas por vaso. A unidade experimental do experimento “efeito da viviparidade” foi um vaso de 10 L com 3 plantas por vaso e 5 repetições por tratamento. Para os demais experimentos a unidade experimental foi composta por 25 sementes com cinco repetições por tratamento. Os dados foram verificados quanto à normalidade. Para todos os experimentos foram realizadas análises de variância (ANOVA) seguidas do teste Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software R.

5. RESULTADOS

5.1. Regulação da germinação e produção de ácido abscísico e etileno em resposta à salinidade

Os efeitos do estresse salino na germinação foram investigados expondo-se as sementes de amendoim cultivares IAPAR25 e Tatu-53 a soluções de NaCl, sob concentrações entre 0 e 200 mM (Figura 1). A germinação das sementes das duas cultivares não diferiram significativamente 72 h após incubação em água deionizada (controle). Por outro lado, a germinação das sementes da cv. IAPAR25 foi reduzida em apenas 8% e 12%, após a incubação com 100 e 150 mM de NaCl, respectivamente, em comparação com as sementes do controle

(Figura 1a). Em contraste, a germinação das sementes da cv. Tatu-53 tratadas com 100 e 150 mM de NaCl foi reduzida em 45% e 74%, respectivamente, após 72 h de exposição às soluções de NaCl (Figura 1b). Da mesma forma, os efeitos inibitórios da solução de NaCl, à concentração de 200 mM, também foram maiores na germinação das sementes da cv. Tatu-53 em relação as sementes da cv. IAPAR25 (Figura 1). Neste contexto, a germinação das sementes da cv. Tatu-53 tratada com 200 mM de NaCl reduziu em 89% (Figura 1b), enquanto o mesmo tratamento promoveu uma redução na germinação das sementes da cv. IAPAR25 de 49% (Figura 1a) em comparação com as sementes do controle, após 72 h de exposição às soluções de NaCl.

Para testar-se uma possível relação entre o etileno, ABA e a inibição da germinação das sementes promovida pelo estresse salino, a produção de etileno e ABA foi quantificada em sementes de amendoim embebidas em soluções de NaCl, às concentrações de 0, 100, 150 e 200 mM, após 72 h de incubação (Figura 2). Interessantemente, a produção de etileno pelas sementes da cv. IAPAR25 foi progressivamente inibida com o aumento da concentração de NaCl no meio de germinação (Figura 2a). O efeito máximo na inibição da biossíntese de etileno das sementes da cv. IAPAR25 foi induzido por NaCl, à concentração de 200 mM, quando a produção de etileno foi reduzida em 88%, em comparação com as sementes do controle (Figura 2a). Ademais, sementes da cv. IAPAR25 tratadas com solução de NaCl, às concentrações de 100, 150 e 200 mM, não apresentaram alterações significativas na biossíntese de ABA, no período de 72 horas de incubação em relação ao controle (Figura 2a). A exposição das sementes da cv. Tatu-53 à solução de NaCl, às concentrações de 100, 150 e 200 mM, levou a um aumento acentuado nos níveis de ABA nos tecidos das sementes após 72 h de embebição (Figura 2b). Em presença de NaCl, à concentração de 200 mM, houve um aumento de 4,7 vezes na concentração de ABA nas sementes da cv. Tatu-53, quando comparada com o controle (Figura 2b). Por outro lado, a produção de etileno das sementes da cv. Tatu-53 não foi afetada por soluções de NaCl as concentrações entre 100 e 200 mM (Figura 2b).

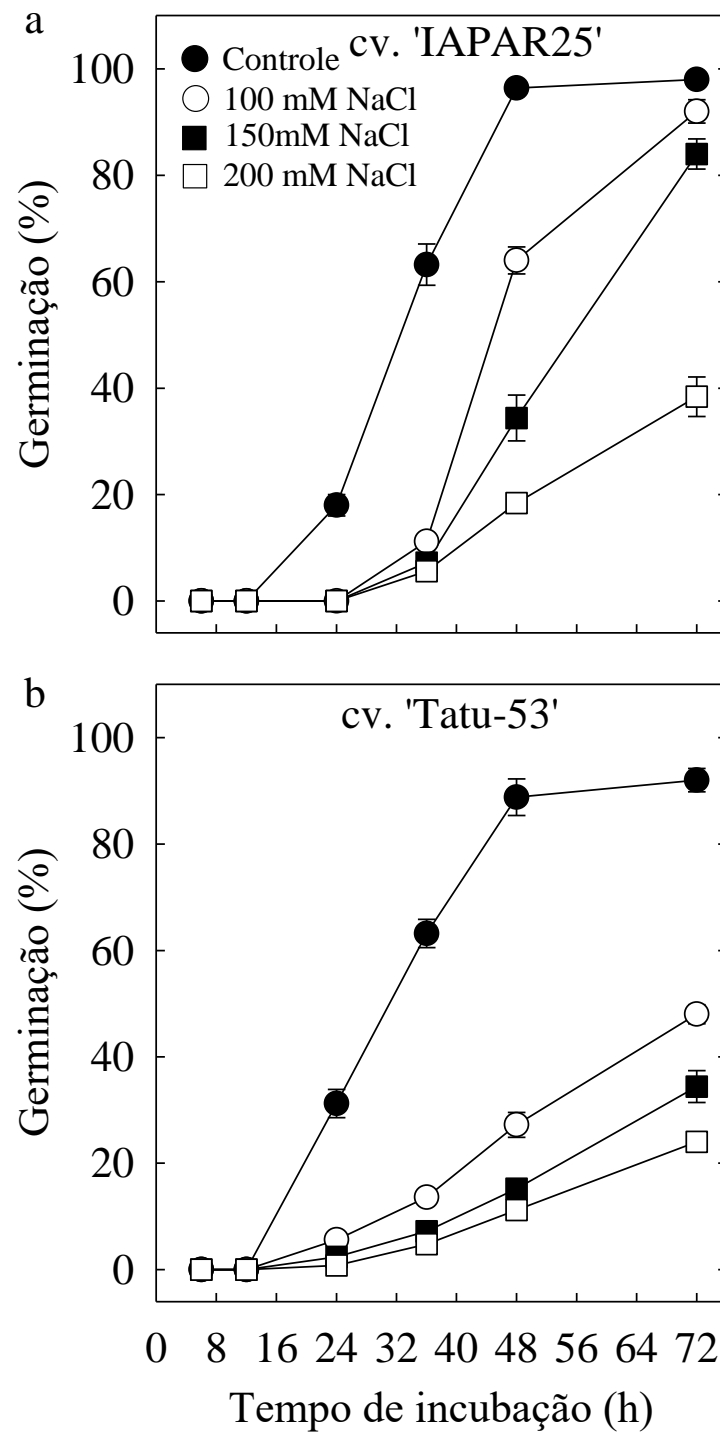


Figura 1. Efeito da salinidade na germinação de sementes de cultivares de amendoim. Solução de NaCl à 100 mM, 150 mM ou 200 mM foi fornecida às sementes de amendoim por um período de 72 horas. A germinação foi avaliada após 6, 12, 24, 36, 48 e 72 horas de exposição. Valores representam as médias de 5 repetições \pm erro da média.

Para avaliar a influência do etileno e ABA na germinação das sementes de amendoim sob estresse salino, o ACC e ABA foram quantificados a partir de diferentes tratamentos

contendo o inibidor do etileno, o AVG, ou do ABA, a fluridona (Figura 3). Os níveis de ABA nas sementes da cv. IAPAR25 permaneceram consistentes entre os tratamentos e o controle (Figura 3a). Por outro lado, os níveis de ACC nas sementes da mesma cv. diminuíram em 54% e 57% nos tratamentos com NaCl → NaCl e NaCl → AVG, respectivamente, em comparação com o controle (Figura 3a). Não houve diferença nos níveis de ACC entre os tratamentos NaCl → Água e NaCl → Fluridona em relação ao controle para as sementes da cv. IAPAR25 (Figura 3a). Nas sementes da cv. Tatu-53, os tratamentos NaCl → Água e NaCl → Fluridona não mostraram diferença nos níveis de ABA em comparação com o controle (Figura 3b). Já nos tratamentos NaCl → NaCl e NaCl → AVG os níveis de ABA nas sementes da cv. Tatu-53 aumentaram significativamente, atingindo 3,7 e 3,8 vezes mais do que o controle (Figura 3b). Por outro lado, o tratamento NaCl → AVG resultou em uma redução de 41% nos níveis de ACC nas sementes da cv. Tatu-53 em comparação com o controle (Figura 3b). Os tratamentos NaCl → Água, NaCl → NaCl e NaCl → Fluridona não demonstraram diferenças significativas quanto aos níveis de ACC nas sementes da cv. Tatu-53 em relação ao controle (Figura 3b).

Para avaliar o efeito do etileno e ABA durante a germinação de sementes de amendoim sob estresse salino, buscou-se reverter a inibição da germinação devido ao estresse salino com solução de ACC ou fluridona (Figura 4). Nas cultivares IAPAR25 e Tatu-53 a exposição ao NaCl durante 72 h reduziu 52% e 67% a germinação, respectivamente, em comparação ao controle (Figura 4a, b). Os efeitos inibitórios causados pela solução de NaCl, à concentração de 200 mM, sobre a germinação não foram verificados quando as sementes da cv. IAPAR25 foram embebidas em solução de NaCl em conjunto com ACC, ao longo do curso do experimento (Figura 4a). Por outro lado, após 72 h de exposição, o tratamento de NaCl com adição de fluridona não conseguiu reverter os efeitos inibitórios ocasionados pelo acúmulo de ABA em

decorrência do estresse salino e promoveu uma redução de 61% da germinação das sementes da cv. IAPAR25, em relação ao controle (Figura 4a). Entretanto, não foram observados efeitos

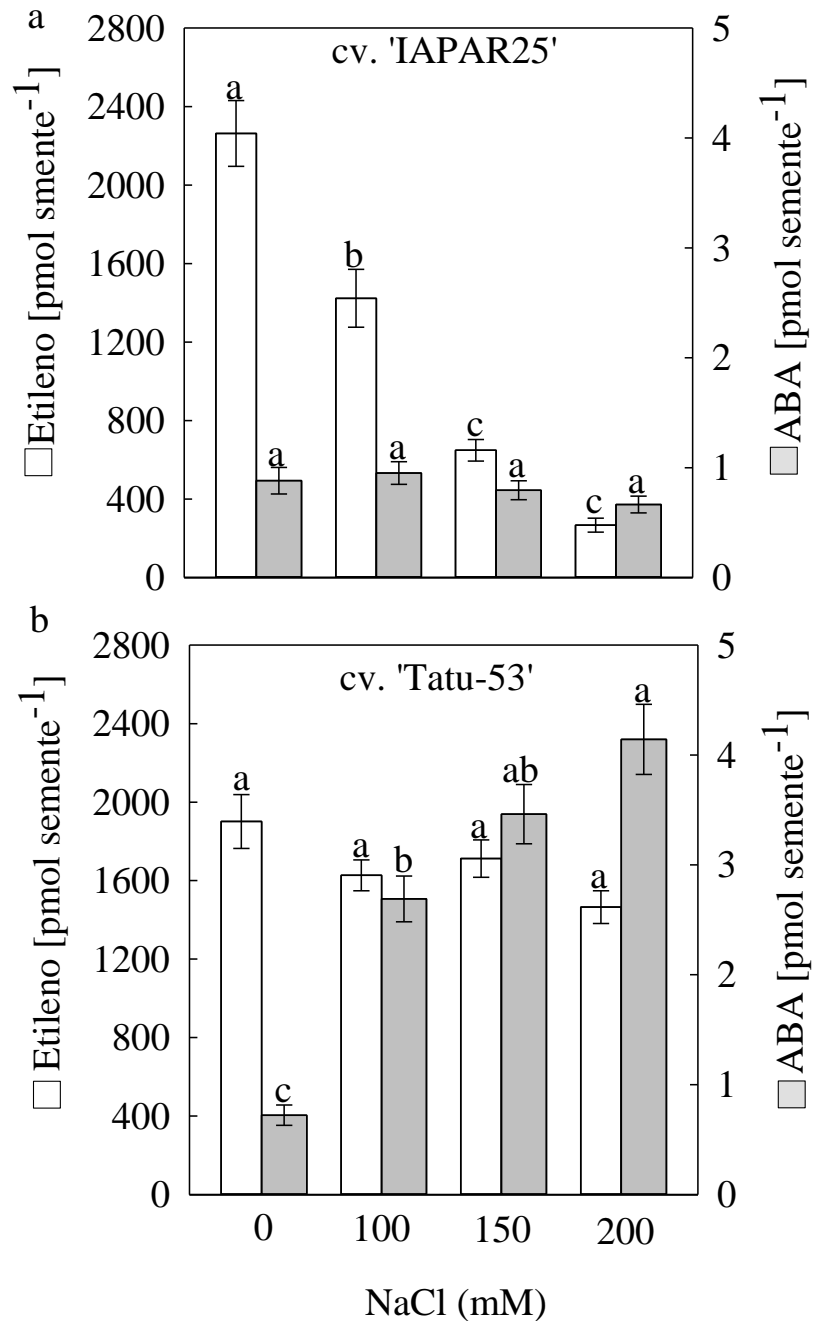


Figura 2. Produção de etileno e ácido abscísico em sementes de amendoim expostas a concentração de 100 mM, 150 mM ou 200 mM de NaCl. A produção de etileno (barras brancas) e a produção de ácido abscísico (barras cinzas) foram quantificadas 72 h após o início da embebição das sementes. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Valores representam as médias de 5 repetições \pm erro da média.

inibitórios causados pela solução de NaCl 200 mM, sobre a germinação das sementes da cv. Tatu-53 após 72 h embebidas em solução de NaCl em conjunto com fluridona (Figura 4b).

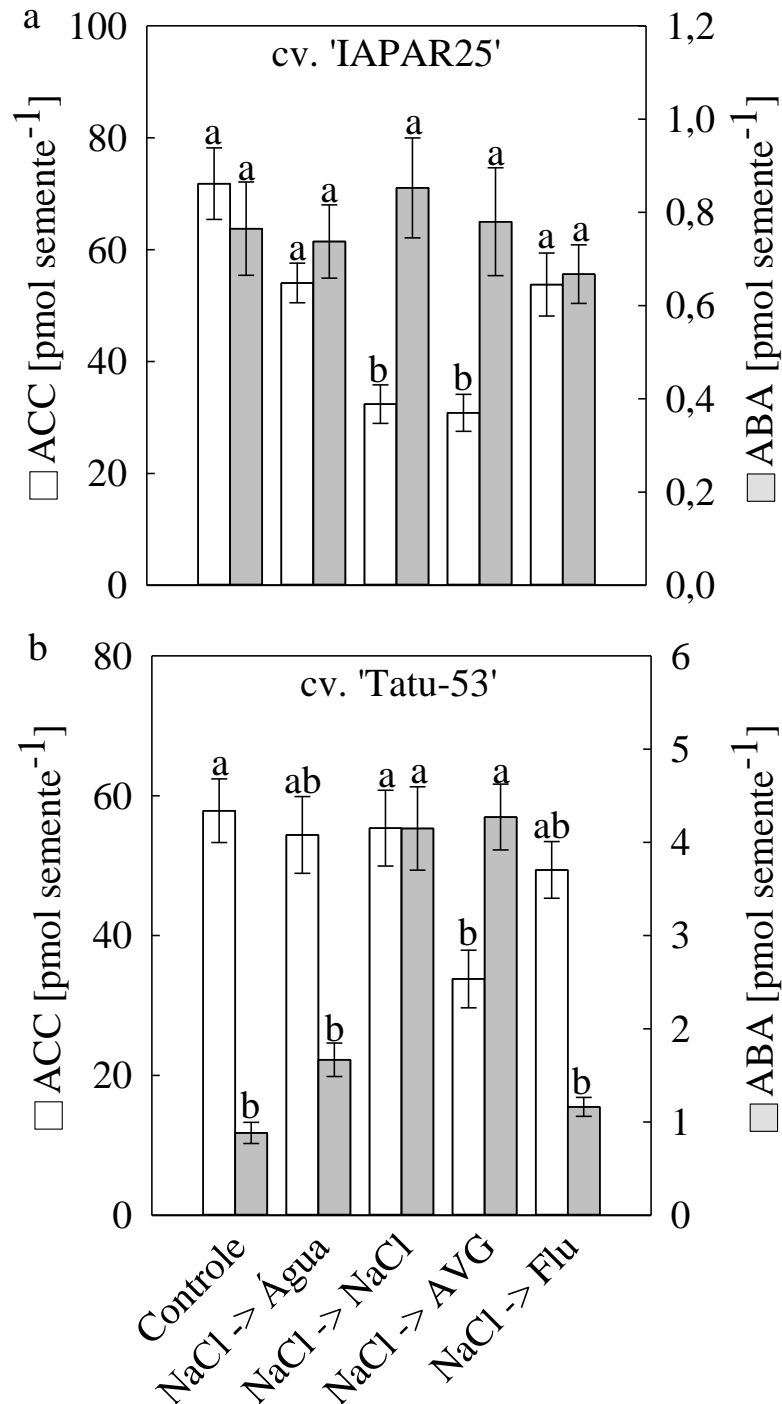


Figura 3. Quantificação de ACC e ABA em sementes de amendoim. Água destilada ou solução de NaCl (200 mM) foi fornecida às sementes por 24 horas, em seguida, as sementes foram transferidas para água destilada, NaCl (200 mM), AVG (0,1 mM) ou Fluridona (0,1 mM) por mais 48 horas. Valores representam as médias de cinco repetições \pm erro da média. Diferentes letras indicam diferenças significativas entre a produção de ACC e ABA na cv. IAPAR25 (a) e cv. Tatu-53 (b) pelo Teste Tukey ($P < 0,05$).

Por outro lado, o ACC não conseguiu anular os efeitos inibitórios do NaCl, observando-se uma redução de 63% da germinação das sementes da cv. Tatu-53 quando comparado ao controle (Figura 4b).

5.2. Efeito do NaCl e PEG-6000 na germinação e concentração de Na

Para examinar o mecanismo de ação do estresse salino na inibição da germinação de sementes de amendoim, solução de PEG-6000, um polímero osmótico, foi formulada com idênticos potenciais osmóticos da solução-teste de NaCl. A inibição da germinação das sementes de ambas cultivares foi acentuada em solução de NaCl à $-0,86$ MPa, sendo a germinação reduzida em 86% e 77% na cv. IAPAR25 e Tatu-53, respectivamente, em comparação com o controle, após 72 h de exposição a solução-teste (Figura 5a). A solução de PEG-6000, por outro lado, não inibiu a germinação das sementes de amendoim de ambas cultivares (Figura 5a). Não houve diferença estatística quanto a concentração de Na nas sementes da cv. IAPAR25 e Tatu-53 tratadas com solução de PEG-6000, em relação ao controle (Figura 5b). As sementes de ambas cultivares tratadas com solução de NaCl diferiram estaticamente do controle e acumularam uma mesma concentração de Na (Figura 5b).

5.3. Efeito da salinidade no metabolismo de sementes de amendoim

A relação entre a inibição da germinação provocada pelo estresse salino e o efeito do etileno e do ABA no metabolismo das sementes de amendoim foi avaliada (Figura 6). As sementes foram tratadas apenas com solução de NaCl (200 mM) e após incubação por 24 h na solução salina, as sementes foram transferidas para água deionizada, solução de AVG ou fluridona. A germinação e as concentrações de proteínas, aminoácidos, açúcares totais, açúcares redutores e açúcares não redutores nas sementes foram determinadas 72 h após exposição das sementes ao segundo meio de incubação. Os tratamentos com NaCl \rightarrow NaCl e NaCl \rightarrow AVG ocasionaram uma diminuição na germinação das sementes da cv. IAPAR25 de 24% e 39%,

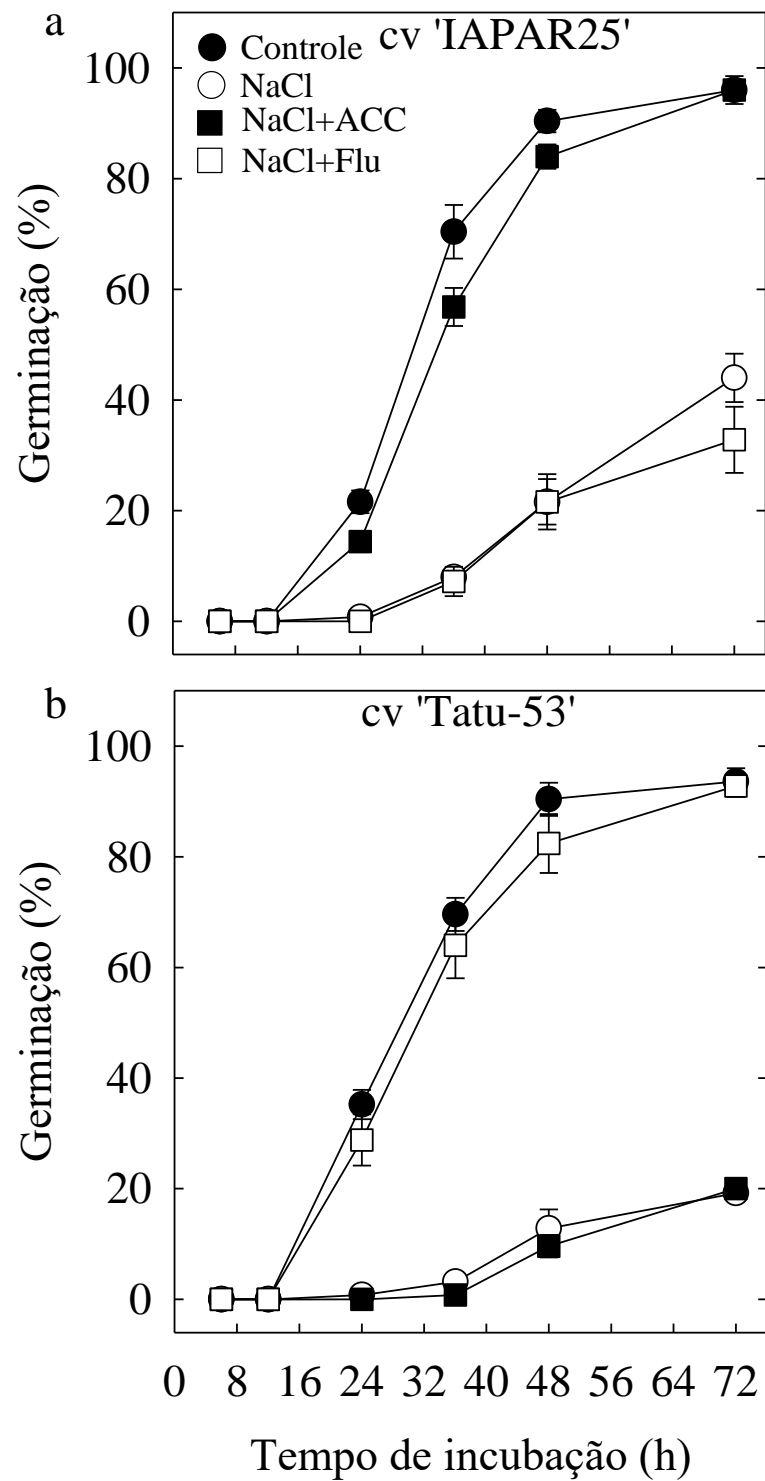


Figura 4. Efeito do ACC e fluridona na germinação de sementes de amendoim sob estresse salino. As sementes receberam solução de NaCl (200 mM) pura ou adicionada de ACC (0,1 mM) ou fluridona (0,1 mM) durante um período de 72 h de embebição. A germinação foi avaliada após 6, 12, 24, 36, 48 e 72 horas de exposição (a) cv. IAPAR25 e (b) cv. Tatu-53. Valores representam as médias de 5 repetições \pm erro da média.

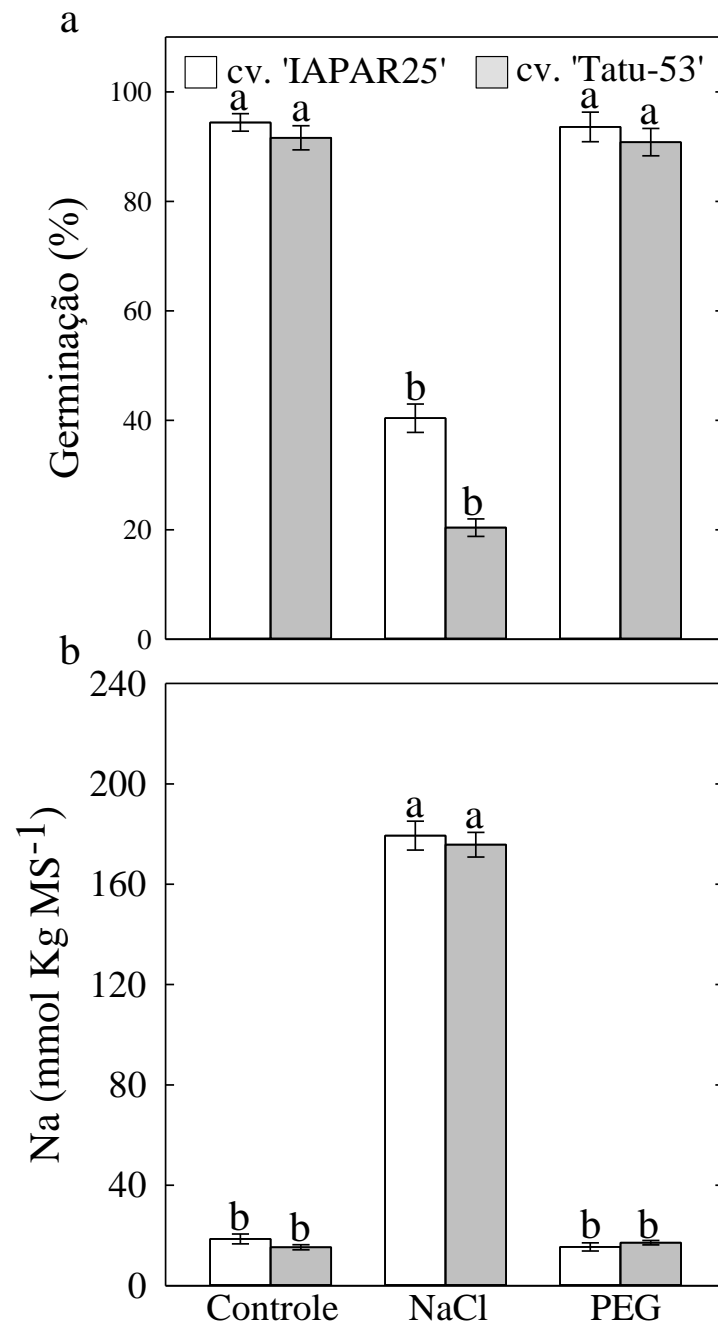


Figura 5. Germinação e concentração de Na em sementes de amendoim tratadas com solução de NaCl e PEG 6000 ambas com potencial osmótico de - 0,86 MPa. (a) A germinação e a (b) concentração de Na nos tecidos das sementes foram quantificadas 72 h após o início da embebição das sementes. As barras brancas correspondem a cv. IAPAR25 e as cinzas a cv. Tatu-53. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% pelo teste de Tukey. Valores representam as médias de 5 repetições \pm erro da média.

respectivamente, em comparação com o controle (Figura 6a). Por outro lado, os tratamentos NaCl \rightarrow Água e NaCl \rightarrow Fluridona não promoveram diferenças estatísticas na germinação das sementes da cv. IAPAR25 em relação ao controle (Figura 6a). Na cv. Tatu-53 os tratamentos

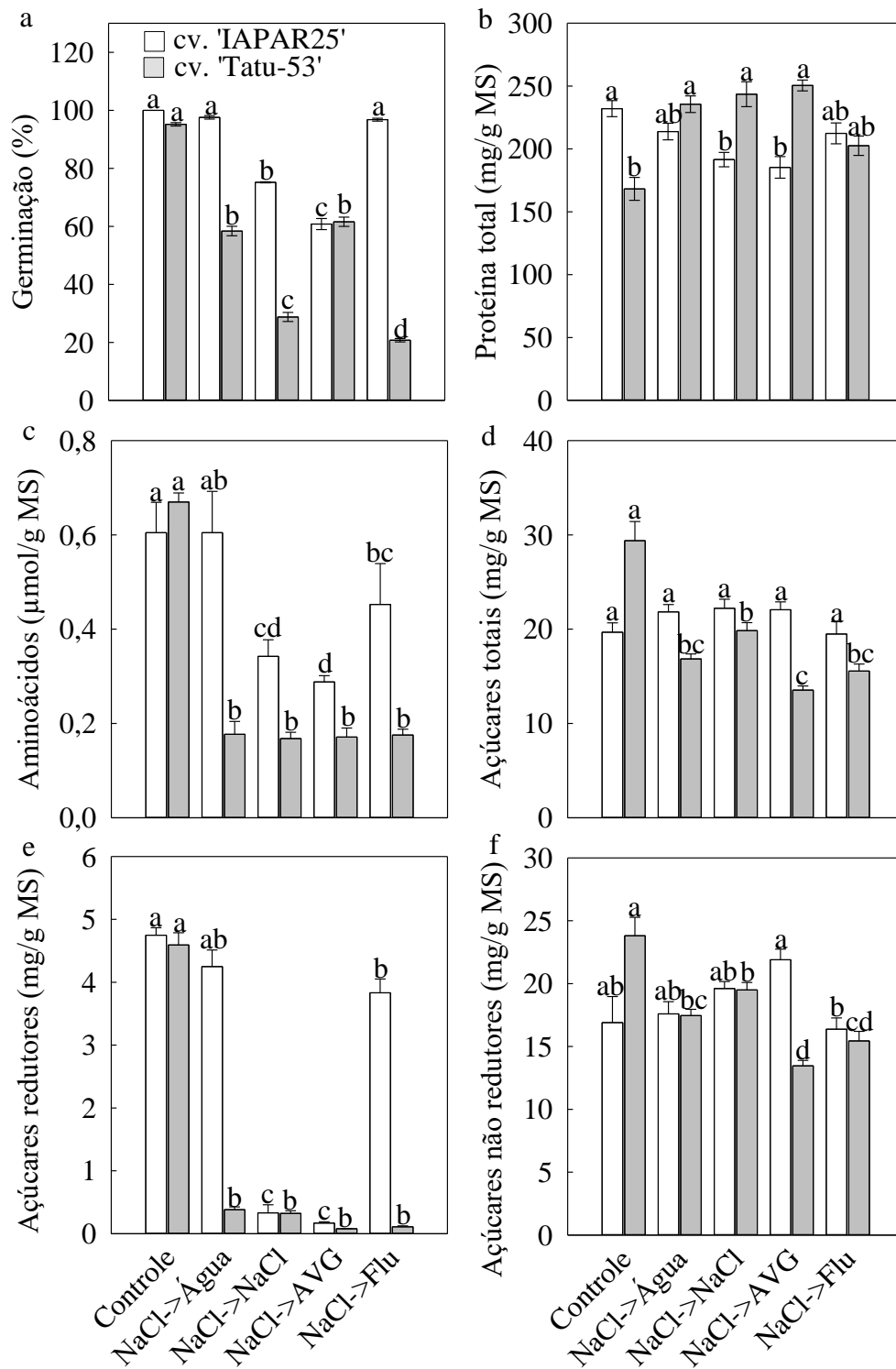


Figura 6. Efeito do inibidor do etileno e do ácido abscísico na germinação e metabolismo primário de sementes de amendoim sob estresse salino. (a) germinação, (b) proteínas, (c) aminoácidos, (d) açúcares totais, (e) açúcares redutores, (f) açúcares não redutores. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% pelo teste de Tukey. Valores representam as médias de 5 repetições \pm erro da média.

NaCl → Fluridona e NaCl → NaCl provocaram maior redução na germinação dessas sementes em comparação com o controle, de 78% e 69%, respectivamente (Figura 6a). Os tratamentos NaCl → Água e NaCl → AVG não diferiram entre si e promoveram uma redução de 38% e 35%, respectivamente, na germinação das sementes da cv. Tatu-53 em relação ao controle (Figura 6a).

Nas sementes da cv. IAPAR25, houve uma redução de 17% e 20% nas concentrações de proteínas nos tratamentos NaCl → NaCl e NaCl → AVG, respectivamente, em comparação com o controle (Figura 6b). Já os tratamentos NaCl → Água e NaCl → Fluridona não mostraram diferença significativa na concentração de proteínas nas sementes da cv. IAPAR25 em relação ao controle (Figura 6b). Por outro lado, os tratamentos NaCl → Água, NaCl → NaCl e NaCl → AVG resultaram em maiores concentrações de proteínas nas sementes da cv. Tatu-53 em comparação com o controle, com aumentos de 40%, 44% e 48%, respectivamente (Figura 6b). Já o tratamento NaCl → Fluridona não promoveu diferença estatística na concentração de proteínas nas sementes da cv. Tatu-53 em comparação com o controle (Figura 6b). Não houve diferença estatística na concentração de aminoácidos nas sementes da cv. IAPAR25 tratadas com solução de NaCl → Água em relação ao controle (Figura 6c). Enquanto os tratamentos NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona reduziram significativamente a concentração de aminoácidos nas sementes da cv. IAPAR25 em comparação com o controle, 43%, 52% e 28%, respectivamente (Figura 6c). Já na cv. Tatu-53 os tratamentos NaCl → Água, NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona provocaram redução na concentração de aminoácidos nas sementes dessa cv. de 73%, 74%, 74% e 73%, respectivamente, em comparação com o controle (Figura 6c). As concentrações de açúcares entre os tratamentos permaneceram inalteradas nas sementes da cv. IAPAR25 em relação ao controle (Figura 6d). Entretanto, na cv. Tatu-53, os tratamentos NaCl → Água, NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona apresentaram diferenças significativas em comparação ao controle, sendo o

tratamento com AVG o que resultou uma maior redução, 53%, na quantidade de açúcares totais nas sementes dessa cv. (Figura 6d).

Nos tratamentos NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona foi verificado que as concentrações de açúcares redutores nas sementes da cv. IAPAR25 foram 93%, 96% e 19% menores, respectivamente, do que a mantida no controle (Figura 6e). Enquanto o tratamento NaCl → Água não promoveu diferença estatística na concentração de açúcares redutores nas sementes da cv. IAPAR25, em relação ao controle (Figura 6e). Nas sementes da cv. Tatu-53 todos os tratamentos, NaCl → Água, NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona, tiveram redução na concentração de açúcares redutores em comparação ao controle (Figura 6e). Os tratamentos NaCl → Água, NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona não promoveram diferenças estatísticas na concentração de açúcares não redutores nas sementes da cv. IAPAR25, em relação ao controle (Figura 6f). Na cv. Tatu-53, todos os tratamentos, NaCl → Água, NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona, apresentaram diferenças na concentração de açúcares não redutores nas sementes dessa cv. em relação ao controle (Figura 6f). O tratamento com AVG foi o que resultou na maior redução, de 43%, na concentração de açúcares não redutores nas sementes da cv. Tatu-53 (Figura 6f).

5.4. Efeito da salinidade no desenvolvimento das plântulas de amendoim

A salinidade não afetou o comprimento da parte aérea das plântulas de ambas as cultivares quando comparada com o controle (Figura 7a). O NaCl, à concentração de 150 mM, reduziu em 15% o comprimento das raízes das plântulas da cv. IAPAR25, quando comparado ao controle (Figura 7b). Os tratamentos NaCl 100 mM e 200 mM não promoveram diferença estatística no comprimento das raízes das plântulas da cv. IAPAR25 em relação ao controle (Figura 7b). Já na cv. Tatu-53, o NaCl à concentração de 150 mM promoveu um aumento de 15% no comprimento das raízes das plântulas comparado com o controle (Figura 7b). Por outro lado, o tratamento NaCl 100 mM promoveu redução do comprimento das raízes das plântulas

da cv. Tatu-53 de 13%, enquanto o de 200 mM não diferiu do controle (Figura 7b). Não houve diferença na massa seca da parte aérea das plântulas para ambas cultivares em relação ao controle (Figura 7c). A salinidade não afetou a massa seca das raízes das plântulas da cv. IAPAR25 em comparação com o controle (Figura 7d). Diferentemente do observado na cv. Tatu-53, onde o NaCl à 200 mM causou uma redução de 19% na massa seca das raízes das plântulas em relação ao controle (Figura 7d). Os tratamentos NaCl 100 mM e 150 mM não promoveram diferenças na massa seca das raízes das plântulas da cv. Tatu-53 em comparação com o controle (Figura 7d). Quanto ao número de folhas das plântulas, a salinidade não provocou diferenças significativas na cv. IAPAR25 em relação ao controle (Figura 7e). Por outro lado, na cv. Tatu-53 o tratamento NaCl à concentração de 150 mM promoveu uma redução de 23% no número de folhas das plântulas comparado com o controle (Figura 7e). Já os tratamentos NaCl 100 e 200 mM não promoveram diferença no número de folhas das plântulas da cv. Tatu-53 em relação ao controle (Figura 7e).

5.5. Ocorrência de viviparidade em sementes de amendoim

Não houve diferença significativa na massa seca da parte aérea entre o tratamento com NaCl (50 mM) e o controle para ambas as cultivares (Figura 8a). Na massa seca da raiz, o tratamento com NaCl resultou em uma redução de 13% em relação ao controle na cv. IAPAR25 (Figura 8b). Por outro lado, na cv. Tatu-53, o tratamento com solução salina não mostrou diferença em relação ao controle na massa seca da raiz (Figura 8b). O tratamento com NaCl não promoveu diferença na massa seca do fruto em relação ao controle em ambas cultivares (Figura 8c). A solução salina causou uma diminuição de 34% na germinação dos frutos da cv. IAPAR25 em comparação com o controle (Figura 8d). Enquanto na cv. Tatu-53 não foi observado nenhum efeito de viviparidade em comparação com o controle (Figura 8d). Não houve diferença nos frutos não germinados entre o tratamento com NaCl e o controle para as duas cultivares avaliadas (Figura 8e).

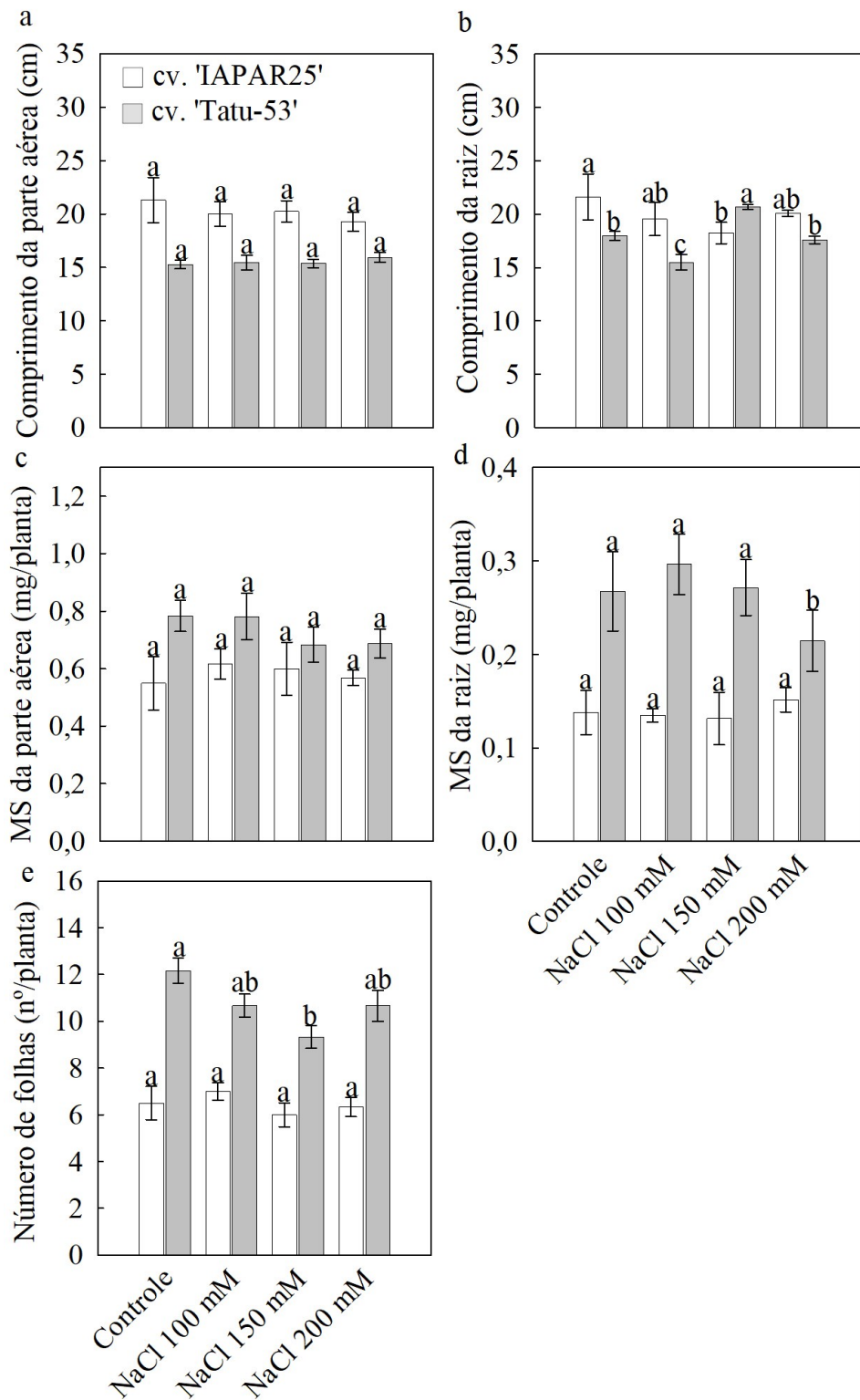


Figura 7. Influência da salinidade no desenvolvimento da parte aérea e da raiz de plântulas de amendoim. As plântulas foram tratadas com soluções de NaCl às concentrações de 100 mM, 150 mM e 200 mM duas vezes por semana. (a) Comprimento da parte aérea, (b) comprimento da raiz, (c) massa seca da parte aérea, (d) massa seca da raiz, (e) número de folhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% pelo teste de Tukey. Valores representam as médias de 6 repetições \pm erro da média.

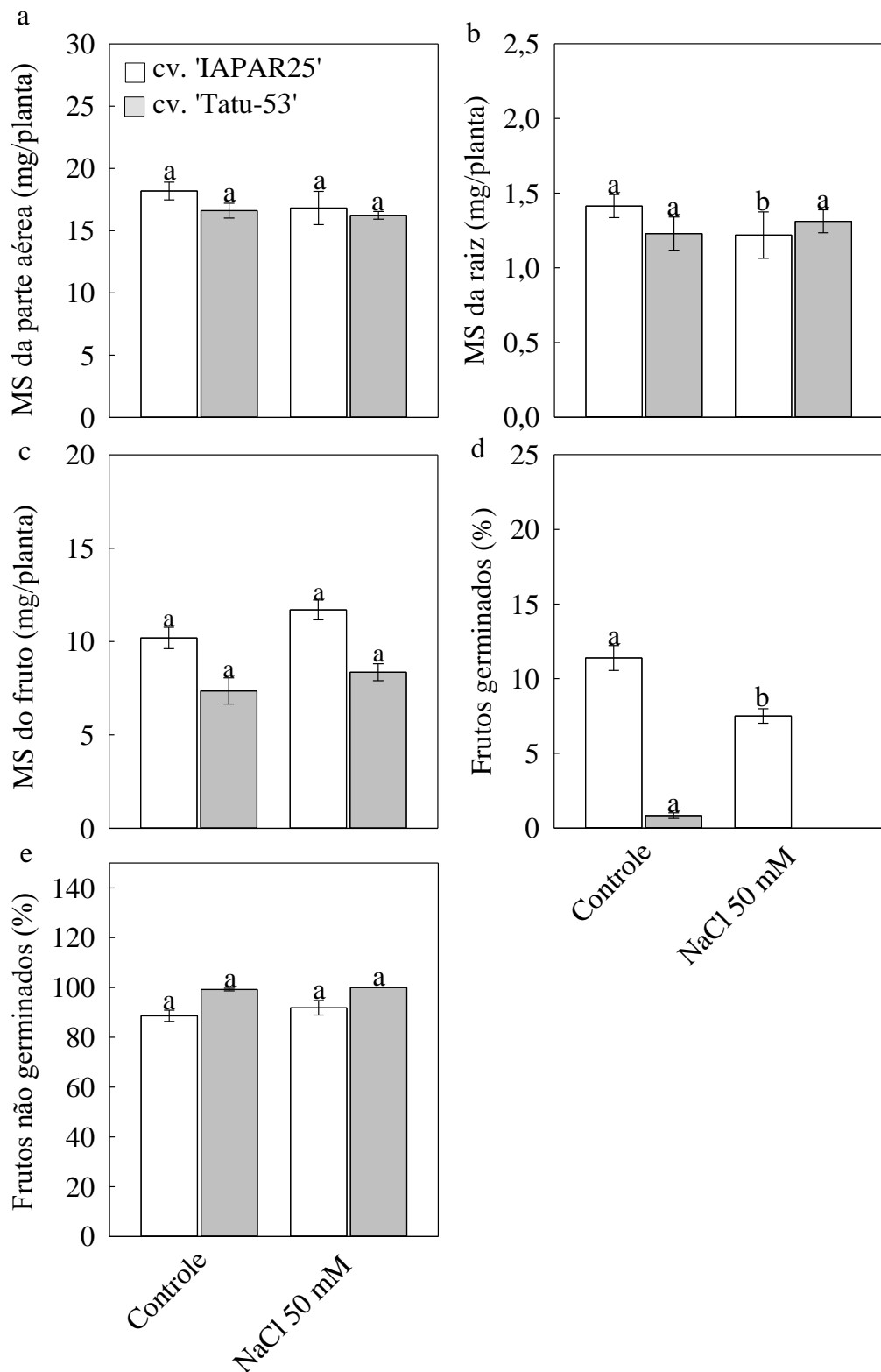


Figura 8. Ocorrência de viviparidade em plantas de amendoim sob estresse salino. As plantas foram tratadas com solução de NaCl 50 mM uma vez por semana. (a) Massa seca da parte aérea, (b) massa seca da raiz, (c) massa seca do fruto, (d) frutos germinados, (e) frutos não germinados. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% pelo teste de Tukey. Valores representam as médias de 5 repetições \pm erro da média.

6. DISCUSSÃO

A germinação das sementes é um evento fisiológico regulado por hormônios e exige condições ambientais específicas (Ahammed et al., 2020; Carrera-Castaño et al., 2020). Nesse contexto, condições de estresse salino afetam negativamente a germinação do amendoim, por ser uma cultura moderadamente sensível a salinidade do solo e da água (Greenway & Munns, 1980). Nesse estudo, a germinação das sementes das cultivares IAPAR25 e Tatu-53 foi inibida com o aumento da concentração de NaCl no meio de germinação (Figura 1). Isso provavelmente pode ter ocorrido devido à toxicidade do íon Na nos tecidos das sementes (Acosta-Motos et al., 2017; Meena; Meena; Yadav, 2016). A toxicidade do Na é conhecida por induzir um aumento na produção de ABA nas sementes da leguminosa forrageira *Stylosanthes humilis* (Silva et al., 2018). A biossíntese de ABA nos tecidos das plantas é regulada principalmente pela atividade da enzima *9-cis-epoxicarotenóide dioxigenase (NCED)* (Liu et al., 2016). Em sementes de *Stylosanthes humilis* o estresse salino aumenta a atividade da enzima *NCED* promovendo um aumento da biossíntese do ABA (Silva et al., 2018). Esse aumento na concentração de ABA inibe a atividade das enzimas chave da biossíntese do etileno, ACS e ACO, nas sementes de *Stylosanthes humilis* inibindo a sua germinação (Silva et al., 2018). Interessantemente, as sementes das duas cultivares, IAPAR25 e Tatu-53, de amendoim responderam de forma distinta quanto a produção de ABA e etileno em resposta a salinidade (Figura 2). A biossíntese de etileno nas sementes da cv. IAPAR25 reduziu com o aumento da concentração do sal no meio de germinação, mas a biossíntese de ABA se manteve estável (Figura 2a). Por outro lado, a produção de etileno nas sementes da cv. Tatu-53 não é afetada pelo aumento da concentração do sal no meio de germinação, mas a biossíntese de ABA nos tecidos da semente foi estimulada com a intensificação do estresse salino (Figura 2b). O etileno tem-se mostrado fundamental para o processo de germinação de sementes de amendoim (Ketring; Simpson; Smith, 1978). O

etileno também atua na mitigação da inibição da germinação de sementes causada pelo estresse salino em diversas espécies (Khan e Huang, 1988 , Zapata et al., 2003 , Wang et al., 2011, Silva et al., 2018). Interessantemente, o etileno parece ser requerido no processo de germinação apenas das sementes da cv. IAPAR25 em resposta ao estresse salino (Figura 1a e 2a). Por outro lado, a salinidade estimula a síntese de ABA nas sementes da cv. Tatu-53 inibindo a expansão do eixo embrionário (Figura 1b e 2b). Esses resultados demonstram as especificidades das sementes dessas duas cultivares quanto ao modo de ação ao estresse salino (Figura 2). Durante o processo de germinação, o aumento da produção de etileno está associado com aumento da atividade das enzimas ACS e ACO, bem como a ação auto-catalítica do regulador gasoso sobre a atividade dessas enzimas (Corbineau et al., 2014). O ABA, por outro lado, induz a dormência primária nas sementes durante seu processo de desenvolvimento na planta mãe, impedindo que a semente germine prematuramente antes de sua dispersão (Erwann et al., 2013). Em condições de estresse salino o ABA inibe a germinação das sementes por meio do aumento da atividade da enzima *NCED* (Verma et al., 2016; Wang et al., 2015a; Silva et al 2018). Diversos estudos relataram variações genótípicas do amendoim na tolerância ao sal em diferentes condições agroclimáticas (Janila et al., 1999; Girdhar et al., 2005; Girdhar e Bhalodia, 2006a; Girdhar e Bhalodia, 2006b; Kumar et al., 2010). Diferenças na sensibilidade ao estresse salino de cultivares de amendoim foram observadas por Meena; Meena e Yadav (2016), em que a cv. GG₂ sofreu menor inibição na germinação em relação a TG 37A, diante o aumento da salinidade do solo (Meena; Meena; Yadav, 2016).

Nas sementes da cv. IAPAR25 a produção de ACC diminuiu nos tratamentos NaCl → NaCl e NaCl → AVG, diferentemente do observado na produção de ABA em que os tratamentos não diferiram do controle (Figura 3a). Nas sementes da cv. Tatu-53 o tratamento NaCl → AVG promoveu uma redução nos níveis de ACC em relação ao controle e esse mesmo tratamento não diferiu dos tratamentos NaCl → Água e NaCl → Fluridona (Figura 3b). Por

outro lado, os tratamentos NaCl → NaCl e NaCl → AVG promoveram um aumento da produção de ABA nas sementes da cv. Tatu-53 em relação ao controle (Figura 3b). O ACC é o precursor do etileno (Pattyn; Vaughan-Hirsch, Poel, 2021). A biossíntese do etileno se dá primeiramente pela conversão do substrato *S*-adenosil-L-metionina (SAM) em ACC e 5'-metiltioadenosina pela ação da enzima ACS (Adams; Yang, 1977, 1979; Boller et al., 1979). Posteriormente, o ACC é convertido em etileno, CO₂ e cianeto a partir da enzima ACO (Hamilton et al., 1991; Ververidis; John, 1991). Nesse estudo, o tratamento NaCl → AVG promoveu uma redução da produção de ACC nas cultivares IAPAR25 e Tatu-53 (Figura 3). Isso ocorreu devido o AVG inibir a atividade da enzima ACS (Ha; Lim; In, 2020), portanto a conversão do SAM em ACC pode ter sido inibida (Konze; Kwiatkowski 1981; Huai et al., 2001; Capitani et al., 2002; Pech, 2002; Capitani et al., 2005), reduzindo a produção de ACC. O tratamento NaCl → NaCl também causou redução na produção de ACC nas sementes da cv. IAPAR25, sugerindo que a salinidade está regulando negativamente a atividade da enzima ACS (Figura 3a). Nas sementes da cv. Tatu-53, o aumento da produção de ABA nos tratamentos NaCl → NaCl e NaCl → AVG sugere que o ABA está atuando como um sinal necessário para a sobrevivência das sementes desta cultivar sob condição de estresse salino (Figura 3b). Isso foi confirmado pela diminuição na biossíntese do ABA nas sementes da cv. Tatu-53 no tratamento NaCl → Fluridona em relação aos tratamentos NaCl → NaCl e NaCl → AVG (Figura 3b).

A presença do ACC reverteu a inibição da germinação das sementes ocasionada pelo NaCl na cv. IAPAR25 (Figura 4a). Isso ocorreu devido o ACC aumentar a produção de etileno em tecidos das plantas (Pattyn; Vaughan-Hirsch, Poel, 2021). A produção do etileno durante os processos de embebição pode antagonizar a inibição da germinação promovida pela salinidade (Silva et al., 2014; Wang et al., 2020). Esses resultados sugerem que a influência do NaCl na germinação das sementes da cv. IAPAR25 provém da diminuição na produção de etileno

provocada pela elevada concentração de NaCl (Figura 4a). A salinidade aumenta a produção de ABA, que por sua vez inibe a germinação de sementes (Silva et al., 2018). Na cv. Tatu-53, a inibição da germinação das sementes promovida pelo NaCl foi revertida com adição de fluridona ao meio de germinação (Figura 4b). Esse fato se deu em decorrência da inibição da biossíntese do ABA promovida pela fluridona (Gianineti, 2022). A fluridona atua bloqueando a biossíntese de carotenóides precursores do ABA (Matusova et al., 2005). Portanto, os níveis aumentados de ABA, resultantes do estresse salino, foram responsáveis pela inibição da germinação das sementes da cv. Tatu-53 (Figura 4b).

Os solos salinos contêm muitos nutrientes, mas a toxicidade iônica é uma preocupação significativa, o que limita sua utilidade (Jacob; Siddiqui; Rathore, 2020). As plantas absorvem o sal do solo por meio de transportadores que geram toxicidade iônica, prejudicando a absorção de minerais e a estabilidade iônica (Arif et al., 2020). A presença de sal pode inibir a germinação das sementes devido ao estresse osmótico causado pela concentração excessiva de sais no ambiente, bem como pela toxicidade iônica resultante dessa condição (Arif et al., 2020). Sabendo que o PEG-6000 é capaz de simular o estresse osmótico (Martínez-Santos et al., 2021), as sementes foram tratadas com solução de PEG-6000 ou de NaCl ambas com mesmo potencial osmótico (Figura 5). A solução de PEG não afetou a germinação das sementes de ambas cultivares de amendoim, mas a solução de NaCl com o mesmo potencial osmótico inibiu significativamente a germinação das sementes das cultivares IAPAR25 e Tatu-53 (Figura 5). Estes resultados evidenciam que a inibição da germinação das sementes de amendoim das cultivares IAPAR25 e Tatu-53, quando tratadas com a solução de NaCl, não foi provocada pelo estresse osmótico, mas sim devido à toxicidade do íon Na (Figura 5).

O estresse salino provoca estresse osmótico e toxicidade iônica, afetando negativamente processos vitais das plantas, como a fotossíntese, nutrição e o metabolismo celular (Joshi et al., 2022). Metabólitos como prolina livre, proteínas solúveis e açúcares solúveis podem ser

vantajosos para o processo de germinação de duas maneiras: inicialmente, ao diminuir a inibição osmótica e, em seguida, ao fornecer substratos para o crescimento dos tecidos embrionários (Gill et al., 2002; Rejeb et al., 2014; Wahid et al., 1998). Os resultados desta pesquisa indicam uma conexão entre as alterações nos níveis de ABA e etileno em resposta ao NaCl e a inibição da germinação nas cultivares Tatu-53 e IAPAR25, respectivamente (Figura 6a). Na cv. IAPAR25 os tratamentos NaCl → NaCl e NaCl → AVG promoveram uma redução na germinação das sementes em relação ao controle (Figura 6a). Enquanto na cv. Tatu-53 houve uma redução na germinação das sementes em relação ao controle para todos os tratamentos testados (NaCl → Água, NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona) (Figura 6a). Os efeitos inibitórios do NaCl, à concentração de 200 mM, sobre a germinação foram maiores nas sementes da cv. Tatu-53 em relação as sementes da cv. IAPAR25 (Figura 6a). A salinidade modifica o metabolismo das sementes, inibindo a mobilização de reservas e modificando as membranas do eixo embrionário (Huang, 2018). Portanto, monitorar os padrões de metabólitos é fundamental para compreender as respostas fisiológicas e moleculares das plantas à salinidade (Ahmad et al., 2019). O estresse salino pode causar toxicidade nas sementes durante a germinação por inibir as vias do metabolismo dependente da mobilização de reservas (Liang et al., 2018). Durante a germinação, a mobilização de reservas armazenadas nos tecidos da semente fornece a energia requerida para o crescimento do eixo embrionário (Chen et al., 2019; Preiss, 2018). Os tratamentos NaCl → NaCl e NaCl → AVG promoveram maior acúmulo de proteínas nas sementes da cv. Tatu-53 em relação as sementes da cv. IAPAR25 (Figura 6b). Esses resultados refletem que a inibição do etileno pelo AVG e os efeitos do NaCl não parecem exercer máxima influência sobre as concentrações de proteínas nas sementes da cv. Tatu-53 (Figura 6b). A concentração de proteínas nas plantas é considerada um indicador da tolerância ao estresse salino, pois desempenham funções essenciais na formação das características fisiológicas dos fenótipos tolerantes ao sal (Athar et al., 2022). Diversas proteínas se acumulam

nas plantas em resposta ao estresse salino (Wang et al., 2015b). Geralmente, os tecidos vegetais reagem ao estresse salino degradando ou produzindo proteínas associadas ao estresse causado pelo excesso de sal (Wang et al., 2015b). Observou-se uma maior quantidade de proteínas em cultivares tolerantes ao estresse salino em comparação com cultivares sensíveis à salinidade em várias culturas, incluindo girassol, cevada, arroz e trigo, como revisado por Athar et al. (2022). Ademais, determinadas proteínas constituem complexos enzimáticos responsáveis pela regulação da biossíntese de açúcares solúveis, os quais têm um papel crucial na osmorregulação durante o estresse salino (Zhao et al., 2019a).

O acúmulo de metabólitos, como aminoácidos, destaca o dano celular em cultivares com sensibilidade ao sal (El-Badri et al., 2021). No entanto, houve redução de aminoácidos em todos os tratamentos avaliados em relação ao controle para cv. Tatu-53 (Figura 6c). Enquanto para cv. IAPAR25 apenas o tratamento NaCl → Água não diferiu do controle, os demais tratamentos promoveram redução de aminoácidos (Figura 6c). Esses resultados apontam que não houve dano celular nas sementes das cultivares estudadas. Ademais, a redução da biossíntese do etileno promovida pelo tratamento das sementes com NaCl pode ter alterado o metabolismo dos aminoácidos na cv. IAPAR25, enquanto na cv. Tatu-53 o NaCl pode ter reduzido a concentração de aminoácidos nas sementes de forma dependente da biossíntese de ABA (Figura 6c). Cultivares de cevada que possuem tolerância ao estresse salino acumulam ácidos orgânicos, polióis, hexose fosfatos, intermediários do ciclo do ácido tricarboxílico (TCA) e açúcares sob estresse salino (Widodo et al., 2009). Dentro desse contexto, o estresse salino acarreta em um acúmulo de açúcares solúveis (Chen et al., 2020). Nesse estudo, a concentração de açúcares totais nas sementes da cv. IAPAR25 que receberam os tratamentos NaCl → Água, NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona não apresentaram diferenças significativas em relação ao controle (Figura 6d). Por outro lado, os níveis de açúcares totais nas sementes da cv. Tatu-53 reduziram em todos os tratamentos (NaCl → Água, NaCl → NaCl, NaCl → AVG e

NaCl → Fluridona) em relação ao controle. Esses resultados demonstram que a cv. Tatu-53 apresentou maior sensibilidade aos tratamentos quanto a concentração de açúcares totais diferentemente do observado na cv. IAPAR25 (Figura 6d). Os açúcares têm uma função essencial na regulação osmótica das plantas, contribuindo para a manutenção do turgor celular e facilitando a absorção e o transporte de água em condições de estresse (Tomasella et al., 2019; De Baerdemaeker et al., 2017). Nas sementes da cv. IAPAR25 que receberam os tratamentos NaCl → NaCl, NaCl → AVG e NaCl → Fluridona houve uma redução dos açúcares redutores em relação ao controle, enquanto o tratamento NaCl → Água não diferiu do controle (Figura 6e). Nas sementes da cv. Tatu-53 foram observadas reduções dos açúcares redutores em todos os tratamentos testados em relação ao controle (Figura 6e). A diminuição da biossíntese de etileno nas sementes no tratamento NaCl → AVG pode estar associado com a redução na concentração de açúcares redutores na cv. IAPAR25 (Figura 6e) Na cv. Tatu-53, mesmo com a inibição do ABA promovida pela fluridona os níveis de açúcares redutores permaneceram baixos nas sementes (Figura 6e). Isso demonstra que o ABA pode não estar associado a redução dos açúcares redutores nas sementes da cv. Tatu-53. O tratamento NaCl → AVG não afetou significativamente a concentração de açúcares não redutores nas sementes da cv. IAPAR25 em relação ao controle (Figura 6f). Diferentemente do observado para cv. Tatu-53, o tratamento NaCl → AVG proporcionou maior redução de açúcares não redutores nas sementes em relação ao controle e aos demais tratamentos (Figura 6f). Esses resultados apontam que o inibidor do etileno impactou a concentração de sacarose de forma distinta para as duas cultivares (Figura 6f). Além disso, a concentração do NaCl (200 mM) pode ter afetado na redução da produção de sacarose na cv. Tatu-53 (Figura 6f).

A salinidade diminui o peso seco, o comprimento das raízes e parte aérea de plântulas de amendoim (Liang et al., 2018; Tian et al., 2019). No entanto, os tratamentos NaCl 100 mM, 150 mM e 200 mM promoveram uma alteração apenas no comprimento das raízes de ambas

cultivares e o tratamento NaCl 200 mM promoveu uma alteração na massa seca das raízes das plântulas da cv. Tatu-53 (Figura 7b, d). As raízes possuem a habilidade de identificar diversos estímulos ambientais e a partir disso utilizam estratégias de crescimento baseadas em resposta a estresses (Zou; Zhang; Testerink, 2021). Em condições de alta salinidade, as plantas possuem a capacidade de diminuir sua exposição ao sal ao ajustar a direção de crescimento de suas raízes com intuito de evitar áreas salinas, em uma resposta conhecida como halotropismo (Zou; Zhang; Testerink, 2021). A salinidade à concentração de 150 mM reduziu o comprimento das raízes das plântulas da cv. IAPAR25 e aumentou o da Tatu-53 em relação ao controle (Figura 7b). Enquanto o tratamento NaCl 100 mM reduziu o comprimento das raízes das plântulas da cv. Tatu-53 em relação ao controle (Figura 7b). Por outro lado, não houve diferença significativa entre os tratamentos em relação ao controle para o comprimento da parte aérea de ambas cultivares (Figura 7a). Essa diferença pode ser atribuída à um maior acúmulo de NaCl no sistema radicular em comparação com a parte aérea (Rahman, Miyake, Taheoka, 2001). O estresse salino além de reduzir significativamente o comprimento, a massa fresca e seca, diâmetro do caule e condutância estomática, também diminui o número de folhas (Sezer et al., 2021). Nesse estudo, o tratamento NaCl 150 mM reduziu o número de folhas da cv. Tatu-53 em relação ao controle, mas esse mesmo tratamento não diferiu dos tratamentos NaCl, às concentrações de 100 e 200 mM (Figura 7e). Esses resultados demonstram que os parâmetros de crescimento, comprimento das raízes, massa seca das raízes e número de folhas foram os mais afetados pela salinidade, havendo diferenças de sensibilidade ao NaCl entre as cultivares, onde a cv. Tatu-53 se mostrou mais sensível ao efeito do sal (Figura 7).

A massa seca do amendoim é reduzida em resposta a salinidade (Satu; Ahmad, 2019). No entanto, foi observada uma diminuição apenas na massa seca da raiz da cv. IAPAR25 (Figura 8b). Portanto, na fase reprodutiva da cultura as raízes da cv. IAPAR25 mostraram-se mais sensíveis ao estresse salino (Figura 8b). Já em estudo realizado por Li et al. (2024) o JHB1,

um amendoim com tegumento de coloração preta, foi apontado como a cv. mais tolerante ao sal em comparação com o vermelho (JHR1) e rosa (YZ9102), que foram o segundo e terceiro mais tolerante, respectivamente.

As sementes vivíparas se caracterizam por germinarem precocemente, havendo o crescimento do embrião antes da dispersão da semente (Pliszko; Górecki, 2021). Em condições normais de cultivo foi observada maior ocorrência de viviparidade nas sementes da cv. IAPAR25 (Figura 8d). Os resultados apresentados nesse estudo demonstram que o estresse salino inibiu a ocorrência de viviparidade nas sementes de ambas cultivares de amendoim (Figura 8d). Isso provavelmente ocorreu em decorrência do NaCl reduzir a biossíntese de etileno na cv. IAPAR25 e aumentar o biossíntese de ABA na cv. Tatu-53.

7. CONCLUSÕES

O presente estudo revelou que o ABA e o etileno modulam a germinação de sementes de amendoim em resposta ao estresse salino, induzindo alterações fisiológicas e metabólicas. O NaCl, à concentração de 200 mM, promoveu maior inibição da germinação, sugerindo, portanto, que as cultivares IAPAR25 e Tatu-53 são sensíveis a salinidade. As duas cultivares estudadas responderam de formas distintas quanto a produção de ABA e etileno no processo de germinação das sementes sob estresse salino (Figura 9). A cv. IAPAR25 pareceu depender mais do etileno durante o processo de germinação (Figura 9). Por outro lado, o NaCl inibiu a germinação das sementes da cv. Tatu-53 pelo aumento da biossíntese de ABA (Figura 9). O desenvolvimento das plantas de ambas as cultivares em vasos sob condição de casa de vegetação foi pouco impactado pelo tratamento com solução de NaCl, às concentrações de 100, 150 e 200 mM. Interessantemente, o tratamento das plantas das duas cultivares com solução de NaCl à concentração de 50 mM reduziu a ocorrência de viviparidade nas sementes. No entanto, mais investigações são necessárias para avaliar a importância das alterações na germinação e

no desenvolvimento das plantas de amendoim em relação a produção de ABA e etileno sob condições de estresse salino.

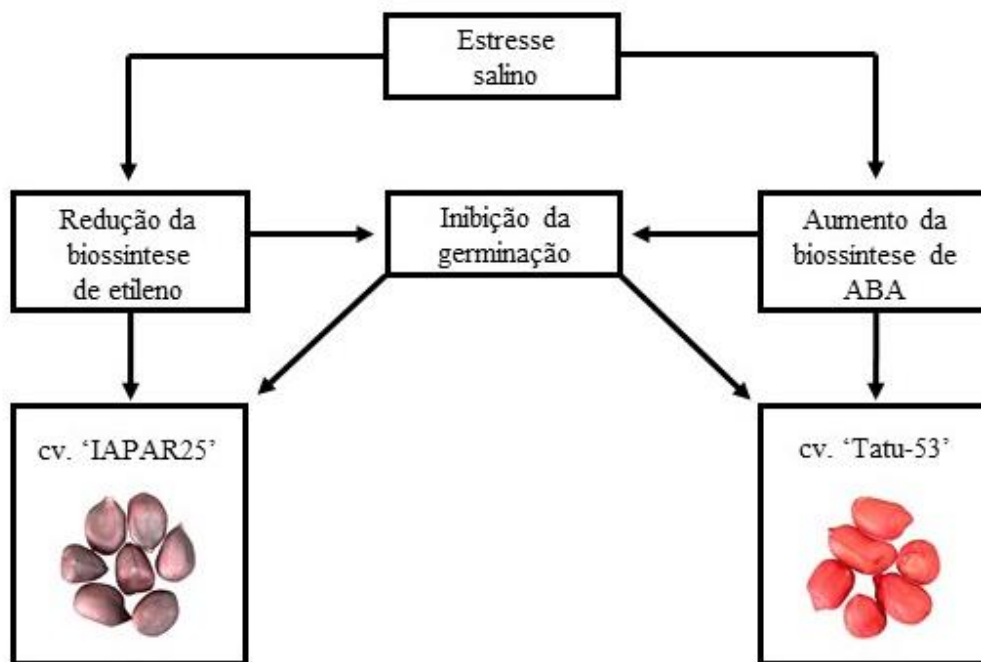


Figura 9. Visão geral do efeito do estresse salino na regulação hormonal e germinação de sementes de amendoim. A inibição da germinação das sementes da cv. IAPAR25 ocorreu em função da redução da biossíntese de etileno devido ao estresse salino, enquanto a inibição da germinação das sementes da cv. Tatu-53 foi promovida pelo aumento da biossíntese de ABA decorrente do estresse salino.

REFERÊNCIAS

ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, v. 7, n 1., p. 1-18, 2017.

ADAMS, D. O.; YANG, S. F. Methionine metabolism in apple tissue. Implication of S-adenosylmethionine as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Plant Physiology*, v. 60, n. 6, p. 892-896, 1977.

AHAMMED, G. J.; GANTAIT, S.; MITRA, M.; YANG, Y.; LI, X. Role of ethylene crosstalk in seed germination and early seedling development: A review. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 151, p. 124-131, 2020.

AHMAD, P.; AHANGER, M. A.; ALAM, P.; ALYEMENI, M. N.; WIJAYA, L.; ALI, S., ASHRAF, M. Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, p. 70–82, 2019.

ARIF, Y.; SINGH, P.; SIDDIQUI, H.; BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: an omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 64-77, 2020.

ARORA, N. K. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. **Environ Sustain**, v. 2, p. 95-96, 2019.

ATHAR, H.; ZULFIQAR, F.; MOOSA, A.; ASHRAF, M.; ZAFAR, Z. U.; ZHANG, L.; AHMED, N.; KALAJI, H. M.; NAFEES, M.; HOSSAIN, M. A.; ISLAM M. S.; SABAGH, A. E.; SIDDIQUE, K. H. M. Salt stress proteins in plants: An overview. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1-23, 2022.

BIGATTON, E. D.; MARTÍNEZ, M. J.; AYOUB, I.; PALMERO, F.; LUCINI, E. I.; HARO, R. J. Peanut grain chemical quality: effects of sowing dates, cultivars and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). **Anais do XIX Encontro Sobre a Cultura do Amendoim**, p. 33-38, 2022.

BOLLER, T.; HERNER, R. C.; KENDE, H. Assay for and enzymatic formation of an ethylene precursor, 1-aminocyclopropane-1- carboxylic acid. **Planta**, v. 145, n. 3, p. 293-303, 1979.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BULENS, I.; POEL, B. V. de; HERTOOG, M. L.; PROFT, M. P. de; GEERAERD, A. H.; NICOLAÏ, B. M. Protocol: An updated integrated methodology for analysis of metabolites and enzyme activities of ethylene biosynthesis. **Plant Methods**, v. 7, n. 17, p. 1-10, 2011.

CAPITANI, G.; MCCARTHY, D. L.; GUT, H.; GRÜTTER, M. G.; KIRSCH, J. F. Apple 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase in complex with the inhibitor 1-aminoethoxyvinylglycine: evidence for a ketimine intermediate. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 277, n. 51, p. 49735–49742, 2002.

CAPITANI, G.; TSCHOPP, M.; ELIOT, A. C.; KIRSCH, J. F.; GRÜTTER, M. G. Structure of ACC synthase inactivated by the mechanism-based inhibitor 1-vinylglycine. **FEBS Lett**, v. 579, n. 2458–2462, 2005.

CARRERA-CASTAÑO, G.; CALLEJA-CABRERA, J.; PERNAS, M.; GÓMEZ, L.; OÑATE-SÁNCHEZ, L. An Updated Overview on the Regulation of Seed Germination, **Plants**, v. 9, n. 6, p. 1-41, 2020.

CATÃO, H. C. R. M.; CAIXETA, F.; LOPES, A. M.; NERY-SILVA, F. A.; SÁ JÚNIOR, A. Antioxidant activity and physiological performance of popcorn seed after saline stress and analysis of seedling images. **Science and agrotechnology**, v. 44, p. 1-9, 2020.

CEBRIÁN, G.; IGLESIAS-MOYA, J.; GARCÍA, A.; MARTÍNEZ, J.; ROMERO, J.; REGALADO, J. J.; MARTINEZ, C.; VALENZUELA, J. L.; JAMILENA, M. Involvement of ethylene receptors in the salt tolerance response of *Cucurbita pepo*. **Horticulture Research**, v. 8, n. 73, p.1-14, 2021.

CHEN, L.; LIU, L.; LU, B.; MA, T.; JIANG, D.; LI, J.; ZHANG, K.; SUN, H.; ZHANG, Y.; BAI, Z.; LI, C. Exogenous melatonin promotes seed germination and osmotic regulation under salt stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plos One**, v. 15, n. 1, p. 1-17, 2020.

CHEN, L.; WU, J.; LI, Z.; LIU, Q.; ZHAO, X.; YANG, H. Metabolomic analysis of energy regulated germination and sprouting of organic mung bean (*Vigna radiata*) using NMR spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 286, p.87-97, 2019.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2022.

CORBINEAU, F.; XIA, Q.; BAILLY, C.; EL-MAAROUF-BOUTEAU, H. Ethylene, a key factor in the regulation of seed dormancy. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. 539, p. 1-13, 2014.

CROSS, J. M.; VON KORFF, M.; ALTMANN, T.; BARTZETKO, L.; SULPICE, R.; GIBON, Y.; P, N.; STITT, M. Variation of enzyme activities and metabolite levels in 24 *Arabidopsis* accessions growing in carbon-limited conditions. **Plant Physiology**, v. 142, p. 1574-1588, 2006.

DE BAERDEMAEKER, N. J. F.; SALOMÓN, R. L.; DE ROO, L.; STEPPE, K. Sugars from woody tissue photosynthesis reduce xylem vulnerability to cavitation. **New Phytologist**, v. 216, p. 720–727, 2017.

DERAKHSHANI, Z.; BHAVE, M.; SHAH, R. M. Metabolic contribution to salinity stress response in grains of two barley cultivars with contrasting salt tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 179, p. 1-12, 2020.

DESHEV, M. G.; DESHEVA, G. N.; STAMATOV, S. K. Germination and early seedling growth characteristics of *Arachis hypogaea* L. under salinity (NaCl) stress. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 85, n. 2, p. 113-121, 2020.

DINNENY, J. R. Developmental responses to water and salinity in root systems. **Annual Reviews of Cell and Developmental Biology**, v. 35, p. 239–257, 2019.

DONG, H.; ZHEN, Z.; PENG, J.; CHANG, L.; GONG, Q.; WANG, N. N. Loss of ACS7 confers abiotic stress tolerance by modulating ABA sensitivity and accumulation in *Arabidopsis*. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 14, p. 4875-4887, 2011.

EL-BADRI, A. M.; BATOOL, M.; MOHAMED, I. A. A.; WANG, Z.; KHATAB, A.; SHERIF, A.; AHMAD, H.; KHAN, M. N.; HASSAN, H. M.; ELREWAINY, I. M.; KUAI, J.; ZHOU,

G.; WANG, B. Antioxidative and Metabolic Contribution to Salinity Stress Responses in Two Rapeseed Cultivars during the Early Seedling Stage. **Antioxidants**, v. 10, n. 8, p. 1-22, 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Amendoim**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355054/19774764/INT_2017_CATALOGO+INOCULACA_O_AMENDOIM_LAMINA+A5.pdf/247d9900-d744-e357-65bb-5beae92de743>. Acesso em: 27 de março de 2024.

EMBRAPA - - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Amendoim: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Roseane Cavalcanti dos Santos, Rosa Maria Mendes Freire, Taís de Moraes Falleiro Suassuna (Eds). Embrapa Informação Tecnológica, Brasília-DF:, p. 240, 2009.

ERWANN, A.; SECHET, J.; CORBINEAU, F.; RAJJOU, L.; MARION-POLL, A. ABA crosstalk with ethylene and nitric oxide in seed dormancy and germination. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-19, 2013.

FACHIN, G. M.; DUARTE JÚNIOR, J. B.; GLIER, C. A. da S.; MROZINSKI, C. R.; COSTA, A. C. T. da; GUIMARÃES, V. F. Características agronômicas de seis cultivares de amendoim cultivadas em sistema convencional e de semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 165-172, 2014

GARCIA, Q. S.; BARRETO, L. C.; BICALHO, E. M. Environmental factors driving seed dormancy and germination in tropical ecosystems: A perspective from *campo rupestre* species. **Environmental and Experimental Botany**, v. 178, p. 1-10, 2020.

GIBON, Y.; USADEL, B.; BLAESING, O. E.; KAMLAGE, B.; HOEHNE, M.; TRETHERWEY, R.; STITT, M. Integration of metabolite with transcript and enzyme activity profiling during diurnal cycles in *Arabidopsis rosettes*. **Genome Biology**, v. 7, n. 8, p. 1-23, 2006.

GILL, P. K.; SHARMA, A. D.; SINGH, P., BHULLAR, S. S. Osmotic stress-induced changes in germination, growth and soluble sugar content of Sorghum bicolor (L.) Moench seeds Bulg. **Journal of Plant Physiology**, v. 28, n. 3-4, p. 12–25, 2002.

GIRDHAR, I. K.; BHALODIA, P. K. Evaluation of released varieties of peanut for salt tolerance. **Journal of the Indian Society of Coastal Agricultural Research**, v. 24, p. 209–2012, 2006a.

GIRDHAR, I. K.; BHALODIA, P. K. Screening of different germplasm of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in saline environment. **Journal of Oilseed Research**, v. 23, p. 320–324, 2006b.

GIRDHAR, I. K.; BHALODIA, P. K.; MISRA, J. B.; GIRDHAR, V. Performance of peanut (*Arachis hypogaea* L.) as influenced by soil salinity and saline water irrigation in black clay soils. **Journal of Oilseeds Research**, v. 82, p. 183–187, 2005.

GONZÁLEZ-GUZMÁN, M.; APOSTOLOVA, N.; BELLÉS, J. M.; BARRERO, J. M.; PIQUERAS, P.; PONCE, M. R.; MICOL, J. L.; SERRANO, R.; RODRÍGUEZ, P. L. The short-chain alcohol dehydrogenase ABA2 catalyzes the conversion of xanthoxin into abscisic aldehyde. **Plant Cell**, v. 14, n. 8, p. 1833-1846, 2002.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. **Annual Review of Plant Biology**, v. 31, p. 149–190, 1980.

HA, S. T. T.; LIM, J.; IN, B. Simultaneous Inhibition of Ethylene Biosynthesis and Binding Using AVG and 1-MCP in Two Rose Cultivars with Different Sensitivities to Ethylene. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.39, p. 553–563, 2020.

HAMILTON, A. J.; BOUZAYEN, M. E.; GRIERSON, D. Identification of a tomato gene for the ethylene-forming enzyme by expression in yeast. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 88, n. 16, p. 7434-7437, 1991.

HAMZA, M.; ABBAS, M.; ABD ELRAHMAN, A.; HELAL, M.; SHAHBA, M. Conventional versus Nano Calcium Forms on Peanut Production under Sandy Soil Conditions. **Agriculture**, v. 11, n. 8, p. 1-12, 2021.

HUAI, Q.; XIA, Y.; CHEN, Y.; CALLAHAN, B.; LI, N.; KE, H. Crystal structures of ACC synthase in complex with AVG and PLP provide new insight into catalytic mechanism. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 276, p. 38210–38216, 2001.

HUANG, R. D. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, p. 739–746, 2018.

JACOB, P. T.; SIDDIQUI, S. A.; RATHORE, M. S. Seed germination, seedling growth and seedling development associated physiochemical changes in *Salicornia brachiata* (Roxb.) under salinity and osmotic stress. **Aquatic Botany**, v. 166, p. 1-12, 2020.

JANILA, P.; RAO, T. N.; KUMAR, A. A. Germination and early seedling growth of peanut (*Arachis hypogaea* L.) varieties under salt stress. **Annals of Agricultural Research**, v. 20, p. 180–182, 1999.

JOSHI, S.; NATH, J.; SINGH, A. K.; PAREEK, A.; JOSHI, R. Ion transporters and their regulatory signal transduction mechanisms for salinity tolerance in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 174, p. 13702, 2022.

KADIRIMANGALAM, S.; SAWARGAONKAR, G.; CHOUDHARI, P. Morphological and molecular insights of calcium in peanut pod development. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 9, p. 1-7, 2022.

KETRING, D. L.; SIMPSON, C. E.; SMITH, O. D. Physiology of Oil Seeds. VII. Growing Season and Location Effects on Seedling Vigor and Ethylene Production by Seeds of Three Peanut Cultivars. **Crop Science**, v. 18, p. 409–413, 1978.

KHAN, A. A.; HUANG, X. L. Synergistic enhancement of ethylene production and germination with kinetin and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid in lettuce seeds exposed to salinity stress. **Plant Physiology**, v. 87, p. 847-852, 1998.

KONZE, J. R.; KWIATKOWSK, I G. M. K. Rapidly induced ethylene formation after wounding is controlled by the regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthesis. **Planta**, v. 151, n. 4, p. 327–330, 1981.

KUMAR, V.; GHEWANDE, M. P.; GIRDHAR, I. K.; PADAVI, R. D.; BHALODIA, P. K. Effect of salinity stress on foliar fungal diseases of peanut. **Indian Phytopathol**, v. 63, n. 3, p. 273–277, 2010.

LI, C.; LAI, X.; LUO, K.; ZHENG, Y.; LIU, K.; WAN, X. Integrated metabolomic and transcriptomic analyses of two peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars differing in amino acid metabolism of the seeds. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 185, p. 132-143, 2022.

LI, G.; GUO, X.; SOL, Y.; GANGURDE, S. S.; ZHANG, K.; WENG, F. B.; WANG, G.; ZHANG, H.; LI, A.; WANG, X.; ZHAO, C. Physiological and biochemical mechanisms underlying the role of anthocyanin in acquired tolerance to salt stress in peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1-13, 2024.

LI, M.; GUO, R.; JIAO, Y.; JIN, X.; ZHANG, H.; SHI, L. Comparison of Salt Tolerance in Soja Based on Metabolomics of Seedling Roots. **Front Plant Sci**, v. 8, p. 1101, 2017.

LIANG, W.; MA, X.; WAN, P.; LIU, L. Plant salt-tolerance mechanism: a review. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 495, p. 286–291, 2018.

LIN, Y.; YANG, L.; PAUL, M.; ZU, Y.; TANG, Z. Ethylene promotes germination of *Arabidopsis* seed under salinity by decreasing reactive oxygen species: Evidence for the involvement of nitric oxide simulated by sodium nitroprusside. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 73, p. 211–218, 2013.

LINKIES, A.; MÜLLER, K.; MORRIS, K.; TURECKOVA, V.; WENK, M.; CADMAN, C.; CORBINEAU, F.; STRNAD, M.; LYNN, J.; FINCH-SAVAGE, W.; LEUBNER-METZGER, G. Ethylene Interacts with Abscisic Acid to Regulate Endosperm Rupture during Germination: A Comparative Approach Using *Lepidium sativum* and *Arabidopsis thaliana*. **Plant Cell**, v. 21, n. 12, p. 3803-3822, 2009.

LIU, S.; LI, M.; SU, L.; GE, K.; LI, L.; LI, X.; LIU, X.; LI, L. Negative feedback regulation of ABA biosynthesis in peanut (*Arachis hypogaea*): a transcription factor complex inhibits AhNCED1 expression during water stress. **Scientific Reports**, v. 6, n. 37943 p. 1-11, 2016.

MARTÍNEZ-SANTOS, E.; CRUZ-CRUZ, C. A.; SPINOSO-CASTILLO, J. L.; BELLO-BELLO, J. J. In vitro response of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) to PEG-induced osmotic stress. **Scientific Reports**, v. 11, n. 22611, p. 1-10, 2021.

MATUSOVA, R.; RANI, K.; VERSTAPPEN, F. W. A.; FRANSSSEN, M. C. R.; BEALE, M. H.; BOUWMEESTER, H. J. The Strigolactone Germination Stimulants of the Plant-Parasitic *Striga* and *Orobancha* spp. Are Derived from the Carotenoid Pathway. **Plant Physiology**, v. 139, n. 2, p. 920–934, 2005.

MEENA, H. N.; MEENA, M.; YADAV, R. S. Comparative performance of seed types on yield potential of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under saline irrigation. **Field Crops Research**, v. 196, p. 305-310, 2016.

MENG, C.; GU, X.; LIANG, H.; WU, M.; WU, Q.; YANG, L.; LI, L.; SHEN, P. Optimized preparation and high-efficient application of seaweed fertilizer on peanut. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 7, p. 1-7, 2022.

MORETZSOHN, M. C.; HOPKINS, M. S.; MITCHELL, S. E.; KRESOVICH, S.; VALLS, J. F.; FERREIRA, M. E. Genetic diversity of peanut (*Arachis hypogaea* L.) and its wild relatives based on the analysis of hypervariable regions of the genome. **BMC Plant Biology**, v. 4, n. 11, p. 1-10, 2004.

NASCIMENTO, W. M.; VIEIRA, J. V.; SILVA, G. O.; REITSMA, K. R.; CANTLIFFE, D. J. Carrot Seed Germination at High Temperature: Effect of Genotype and Association with Ethylene Production. **Hort Science**, v. 43, p. 1538-1543, 2008.

NAZARI, M.; ETEGHADIPOUR, M. Impacts of ultrasonic waves on seeds: A mini-review. **Agricultural Research & Technology: Open access journal**, v. 6, n. 3, p. 001-005, 2017.

OZIAS, P.; BREITENEDER, H. The functional biology of peanut allergens and possible links to their allergenicity. **Allergy**, v. 74, n. 5, p. 888-898, 2019.

PATTYN, J.; VAUGHAN-HIRSCH, J.; VAN DE POEL, B. The regulation of ethylene biosynthesis: a complex multilevel control circuitry. **New Phytologist**, v. 229, p. 770-782, 2021.

PECH, J. Ethylene: agricultural sources and applications. **Plant Science**, v. 162, n. 6, p.1020, 2002.

PLISZKO, A.; GÓRECKI, A. First observation of true vivipary in *Grindelia squarrosa* (Asteraceae). **Biologia**, v. 76, p. 1147-1151, 2021.

PREISS, J. **Plant starch synthesis**. In Rosicka-Kaczmarek, J., Kwaśniewska-Karolak, I., Nebesny, E., Komisarczyk, A. (Eds) *Functionality of Wheat Starch*, Elsevier, Cambridge, 2 ed., p. 325-352, 2018.

RAHMAN, M. S.; MIYAKE, H.; TAHEOKA, Y. Effect of sodium chloride salinity on seed germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). **Pakistan Journal of Biological Sciences.**, v. 4, n. 3, p. 351-355, 2001.

RAMAGLI, L. S.; RODRIGUEZ, L. V. Quantitation of microgram amounts of protein in two-dimensional polyacrylamide gel electrophoresis sample buffer. **Electrophoresis**, v. 6, p. 559-563, 1985.

REJEB, K. B.; ABDELLY, C.; SAVOURÉ, A. How reactive oxygen species and proline face stress together. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 278-284, 2014.

RIBEIRO, G. P. **Desempenho agrônômico de cultivares de amendoim no Paraná para rendimento de grãos, teor de óleo e qualidade fisiológica de sementes**. 21 ed., Cascavel: CDD, 2013.

SÁ, F. V. da S.; SANTOS, M. G. dos; BARROS JÚNIOR, A. P.; ALBUQUERQUE, J. R. T. de; SOUZA, A. R. E. de; RIBEIRO, R. M. P Tolerance of peanut (*Arachis hypogea*) genotypes to salt stress in the initial phase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 24, n. 1, 37-43, 2020.

SALTVEIT-JÚNIOR, M. E.; YANG, S. F. **Ethylene**. In: Rivier L, Crozier A (Eds) *Principles and practice of plant hormone analysis*, Academic Press, London, v. 2, p 367-401, 1987.

SANO, N.; MARION-POLL, A. ABA Metabolism and Homeostasis in Seed Dormancy and Germination. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 10, p. 1-26, 2021.

SANTOS, R. C. dos; MELO FILHO, P. de A.; BRITO, S. de F. M. de; MORAES, J. de S. Fenologia de genótipos de amendoim dos tipos botânicos Valência e Virgínia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 6, p. 607-612, 1997.

SATU, S. I.; AHMAD, M. A. S. Effects of salinity on the growth and development of groundnut plant (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of Bangladesh Academy of Sciences**, v. 43, n. 1, p. 25-30, 2019.

SEZER, I.; KIREMIT, M. S.; ÖZTÜRK, E.; SUBRATA, B. A. G.; OSMAN, H. M.; AKAY, H.; ARSLAN, H. Role of melatonin in improving leaf mineral content and growth of sweet corn seedlings under different soil salinity levels. **Scientia Horticulturae**, v. 288, p. 1-10, 2021.

SHAHID, M. A.; SARKHOSH, A.; KHAN, N.; BALAL, R. M.; ALI, S.; ROSSI, L.; GÓMEZ, C.; MATTSO, N.; NASIM, W.; GARCIA-SANCHEZ, F. Insights into the Physiological and Biochemical Impacts of Salt Stress on Plant Growth and Development. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 1-34, 2020.

SILVA, D. C. da; LOPES, P. M. O.; SILVA, M. V. da; MOURA, G. B. de A.; NASCIMENTO, C. R.; BRITO, J. I. B.; SILVA, E. F. de F. e; ROLIM, M. M., LIMA, R. P. de. Principal component analysis and biophysical parameters in the assessment of soil salinity in the irrigated perimeter of Bahia, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, p. 1-9, 2021.

SILVA, N. C. Q.; SOUZA, G. A. de; PIMENTA, T. M.; BRITO, F. A. L.; PICOLI, E. A. T.; ZSÖGÖN, A.; RIBEIRO, D. M. Salt stress inhibits germination of *Stylosanthes humilis* seeds through abscisic acid accumulation and associated changes in ethylene production. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 130, p. 399-407, 2018.

SILVA, P. O., MEDINA, E. F., BARROS, R. S., RIBEIRO, D. M. Germination of salt-stressed seeds as related to ethylene biosynthesis ability in three *Stylosanthes* species. **Journal Plant Physiology**, v. 171, n. 1, p. 14-22, 2014.

THAO, N. P.; KHAN, M. I. R.; THU, N. B. A.; HOANG, X. L. T.; ASGHER, M.; KHAN, N. A.; TRAN, L. P. Role of Ethylene and Its Cross Talk with Other Signaling Molecules in Plant Responses to Heavy Metal Stress. **Plant Physiology**, v. 169, n. 1, p. 73-84, 2015.

TIAN, L.; LI, J.; BI, W.; ZUO, S.; LI, L.; LI, W.; SUN, L. Effects of waterlogging stress at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of spring maize (*Zea mays* L.) under field conditions. **Agricultural Water Management**, v. 218, n 7212, p. 250-258, 2019.

TOMASELLA, M.; NARDINI, A.; HESSE, B. D.; MACHLET, A.; MATYSSEK, R.; HÄBERLE, K. H. Close to the edge: Effects of repeated severe drought on stem hydraulics and non-structural carbohydrates in European beech saplings. **Tree Physiology**, v. 39, n. 5, p. 717-728, 2019.

USDA - United States Department of Agriculture. Available online: Disponível em: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?startrow=1&cropid=2221000&sel_year=2022&rankby=Production>. Acesso em janeiro de 2023.

VERMA, V.; RAVINDRAN, P.; KUMAR, P. P. Plant hormone-mediated regulation of stress responses. **BMC Plant Biology**, v. 16, n. 86, 2016.

VERVERIDIS, P.; JOHN, P. Complete recovery in vitro of ethylene-forming enzyme activity. **Phytochemistry**, v. 30, p. 725-727, 1991.

WAADT, R.; SELLER, C. A.; HSU, PO-KAI.; TAKAHASHI, Y.; MUNEMASA, S.; SCHROEDER, J. I. Plant hormone regulation of abiotic stress responses. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 23, p. 680-694, 2022.

WAHID, A.; JAVED, I. H.; ALI, I.; BAIG, A.; RASUL, E. Short term incubation of sorghum caryopses in sodium chloride levels: changes in some pre and post germination physiological parameters. **Plant Science**, v. 139, p. 223–232, 1998.

WANG, B.; ZHANG, J.; XIA, X.; ZHANG, W. H. Ameliorative effect of Brassinosteroid and ethylene on germination of cucumber seeds in the presence of sodium chloride. **Plant Growth Regulation**, v. 65, p. 407–413, 2011.

WANG, L.; DEZHUO, P.; LI, J.; TAN, F.; HOFFMANN-BENNING, S.; LIANG, W.; CHEN, W. Proteomic analysis of changes in the kandelia candel chloroplast proteins reveals pathways associated with salt tolerance. **Plant Science**, v. 231, p. 159–172, 2015a.

WANG, T.; TOHGE, T.; IVAKOV, A.; MUELLER-ROEBER, B.; FERNIE, A. R.; MUTWIL, M.; SCHIPPERS, J. H. M.; PERSSON, S. Salt-Related MYB1 Coordinates Abscisic Acid Biosynthesis and Signaling during Salt Stress in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 169, p. 1027–1041, 2015b.

WANG, Y.; DIAO, P.; KONG, L.; YU, R.; ZHANG, M.; ZUO, T.; FAN, Y.; NIU, Y.; YAN, F.; WURIYANGHAN, H. Ethylene Enhances Seed Germination and Seedling Growth Under Salinity by Reducing Oxidative Stress and Promoting Chlorophyll Content via ETR2 Pathway. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1-14, 2020.

WANG, Y.; ZHANG, J.; MINGHAO, S.; HE, C.; YU, K.; ZHAO, B.; LI, R.; LI, J.; YANG, Z.; WANG, X.; DUAN, H. Y.; FU, J.; LIU, S.; ZHANG, X.; ZHENG, J. Multi-Omics Analyses Reveal Systemic Insights into Maize Vivipary. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 1-17, 2021.

WATTANAKULPAKIN, P.; THONGSRI, K.; SATTAYASAMITSATHIT, S. Ethephon Effect on Peanut Seed Dormancy Release. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, v. 12, p. 48-54, 2022.

WHITEHEAD, C. S.; NELSON, R. M. Ethylene sensitivity in germinating peanut seeds: the effect of short-chain saturated fatty acids. **Journal of Plant Physiology**, v. 139, p. 479-483, 1992.

WIDODO; PATTERSON, J. H.; NEWBIGIN, E.; TESTER, M.; BACIC, A.; ROESSNER, U. Metabolic responses to salt stress of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars, Sahara and clipper, which differ in salinity tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 14, p. 4089–4103, 2009.

WILSON, R. L., KIM, H., BAKSHI, A., BINDER, B. M. The ethylene receptors ethylene response1 and ethylene response2 have contrasting roles in seed germination of *Arabidopsis* during salt stress. **Plant Physiology**, v. 165, n. 3, p. 1353-1366, 2014.

XIE, M.; YU, M.; ZHANG, L.; SHI, T. Transcriptome and proteome analysis of ultrasound pretreated peanut sprouts. **Food Chemistry: Molecular Sciences**, v. 4, p. 1-10, 2022.

YU, Z.; DUAN, X.; LUO, L.; DAI, S.; DING, Z.; XIA, G. How plant hormones mediate salt stress responses. **Trends in Plant Science**, v. 25, p. 1117-1130, 2020.

ZAPATA, H. P. J.; SERRANO, M.; PRETEL, M. T.; AMOROS, A.; BOTELLA, M. A. Changes in ethylene evolution and polyamine profiles of seedlings of nine cultivars of *Lactuca sativa* L. in response to salt stress during germination. **Plant Science**, v. 164, p. 557–563, 2003.

ZHAO, C.; ZAYED, O.; ZENG, F.; LIU, C.; ZHANG, L.; ZHU, P.; HSU, C.; TUNCIL, Y. E.; TAO, W. A.; CARPITA, N. C.; ZHU, J. Arabinose biosynthesis is critical for salt stress tolerance in arabidopsis. **New Phytologist**, v. 224, n. 1, p. 274– 290, 2019.

ZHOU, X.; REN, X.; LUO, H.; HUANG, L.; LIU, N.; CHEN, W.; LEI, Y.; LIAO, B.; JIANG, H. Safe conservation and utilization of peanut germplasm resources in the Oil Crops Middle-term Genebank of China. **Oil Crop Science**, v. 7, p. 9-13, 2022.

ZOU, Y.; ZHANG, Y.; TESTERINK, C. Root dynamic growth strategies in response to salinity. **Plant, Cell & Environment**, v. 45, p. 695–704, 2021.