

ÁCIDO SALICÍLICO MELHORA O BALANÇO IÔNICO E A BIOMASSA DE MICROVERDES DE AMARANTO SOB SALINIDADE

Toshik Iarley da Silva¹, Beatriz Meurer Bedra², Isabel da Silva Teixeira Dourado², Thainan Sipriano dos Santos³, Jucilene Jesus Santos⁴, Mairton Gomes da Silva⁵

RESUMO: O amaranto é importante por seu alto valor nutricional, rico em proteínas de qualidade, fibras, vitaminas e minerais, além de conter compostos bioativos com propriedades antioxidantes, contribuindo para a segurança alimentar e a diversificação de cultivos sustentáveis. Os microverdes de amaranto destacam-se como alimentos funcionais devido à elevada concentração de nutrientes e compostos bioativos, além do curto ciclo de cultivo. No entanto, a salinidade em sistemas hidropônicos pode comprometer seu desenvolvimento. O ácido salicílico (AS) tem sido estudado como bioestimulante por sua capacidade de modular respostas fisiológicas ao estresse salino. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do pré-tratamento de sementes com AS no cultivo hidropônico de microverdes de amaranto submetidos a diferentes níveis de salinidade. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (0 e 1 mM de AS) $\times$ 3 (0, 25 e 50 mM de NaCl), com quatro repetições. Foram avaliados os teores de sódio (Na^+), potássio (K^+), cloreto (Cl^-), razão Na^+/K^+ e a massa seca total. Os resultados indicaram que o AS promoveu aumento no teor de K^+ , redução de Cl^- e da razão Na^+/K^+ sob salinidade moderada, além de favorecer o acúmulo de biomassa em 25 mM de NaCl, evidenciando seu potencial como agente mitigador do estresse salino em microverdes.

PALAVRAS-CHAVE: *Amaranthus cruentus*; Estresse abiótico; Fitormônio

¹ Prof. Doutor, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA. E-mail: toshik@ufrb.edu.br

² Graduandas em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB, Cruz das Almas, BA.

³ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB, Cruz das Almas, BA.

⁴ Mestranda em Recursos Genéticos Vegetais, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB, Cruz das Almas, BA.

⁵ Prof. Doutor, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB, Cruz das Almas, BA.

SALICYLIC ACID IMPROVES IONIC BALANCE AND BIOMASS OF AMARANTH MICROGREENS UNDER SALINITY

ABSTRACT: Amaranth is important for its high nutritional value, being rich in high-quality proteins, fiber, vitamins, and minerals, as well as containing bioactive compounds with antioxidant properties, contributing to food security and the diversification of sustainable crops. Amaranth microgreens stand out as functional foods due to their high concentration of nutrients and bioactive compounds, as well as their short cultivation cycle. However, salinity in hydroponic systems can impair their development. Salicylic acid (SA) has been studied as a biostimulant for its ability to modulate physiological responses to salt stress. This study aimed to evaluate the effects of seed pre-treatment with SA on the hydroponic cultivation of amaranth microgreens exposed to different salinity levels. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 2 (0 and 1 mM SA) $\times$ 3 (0, 25, and 50 mM NaCl) factorial scheme, with four replications. Sodium (Na^+), potassium (K^+), and chloride (Cl^-) contents, the Na^+/K^+ ratio, and total dry mass were evaluated. The results showed that SA promoted an increase in K^+ content, a reduction in Cl^- content and Na^+/K^+ ratio under moderate salinity, and enhanced biomass accumulation at 25 mM NaCl, highlighting its potential as a mitigating agent against salt stress in microgreens.

KEYWORDS: *Amaranthus cruentus*; Abiotic stress; Phytohormone

INTRODUÇÃO

Os microverdes têm se destacado como alimentos funcionais devido à sua alta concentração de nutrientes, compostos bioativos e rápido ciclo de produção (Xiao et al., 2012). Dentre as espécies cultivadas o amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) é valorizado por sua propriedade antioxidante e adaptabilidade a condições adversas (Weber, 2017). O amaranto é considerado uma cultura alimentícia altamente nutritiva, com excelente potencial em termos de valor nutricional obtido tanto dos grãos quanto das folhas. Frequentemente utilizado como ração animal, o amaranto também se destaca pelo elevado teor de metabólitos secundários, como flavonoides, alcaloides, fenóis, vitaminas, macro e micronutrientes, além de ácidos graxos poli-insaturados, o que o torna igualmente adequado para o consumo humano (Manyelo et al., 2022).

A salinidade constitui um estresse abiótico que compromete de maneira expressiva a germinação de diversas espécies vegetais. Sua presença pode provocar atraso ou diminuição na taxa germinativa, além de restringir o desenvolvimento inicial das plântulas. Quando resultante do excesso de NaCl, seus efeitos tendem a ser ainda mais intensos (Toscano et al., 2025). O acúmulo de sais no meio reduz o potencial osmótico, limitando a absorção de água pelas sementes. Paralelamente, o estresse iônico decorrente pode afetar a atividade de enzimas, modificar processos metabólicos, interferir na sinalização hormonal e prejudicar a mobilização das reservas energéticas necessárias à germinação (Parihar et al., 2015).

O estresse salino pode causar efeitos negativos em plantas jovens, como os microverdes, já que a salinidade tem potencial para comprometer tanto a germinação quanto o desenvolvimento inicial. Ainda assim, a intensidade desse impacto depende da espécie cultivada (Plocek et al., 2023). Considerados plantas na fase cotiledonar e de elevada densidade nutricional, os microverdes são geralmente colhidos entre uma e duas semanas após a germinação (Ayeni, 2021). Nos últimos anos, têm despertado crescente interesse por apresentarem perfil nutricional semelhante ao das plantas adultas, mas com necessidade reduzida de espaço e manejo, em função do ciclo curto. No entanto, por completarem seu desenvolvimento em um período muito breve, não chegam a formar plenamente mecanismos de adaptação a condições adversas, o que os torna mais sensíveis e suscetíveis a estresses ambientais quando comparados a plantas maduras (Tan et al., 2020).

Contudo, o cultivo sob salinidade pode prejudicar a germinação e o desenvolvimento dessas plantas, especialmente em sistemas hidropônicos (Shah et al., 2021). A metionina, um aminoácido essencial, tem sido investigada como um potencial agente bioestimulante, capaz de melhorar a tolerância das plantas a estresses abióticos, incluindo a salinidade (Hanson & Gregory, 2011).

O ácido salicílico (AS) é um fitormônio presente naturalmente nas plantas, originado do ácido hidroxibenzoico. É amplamente reconhecido por sua atuação na defesa contra patógenos, estando frequentemente relacionado à ativação da resistência sistêmica adquirida (Singh et al., 2013). Além de seu papel em respostas bióticas, o AS também está envolvido na modulação de mecanismos de tolerância a estresses abióticos. Sua ação, entretanto, é complexa e pode variar de acordo com fatores como o período de exposição, a variedade ou espécie vegetal, a dose aplicada e a interação com outros agentes ambientais (Torun et al., 2022).

A aplicação exógena de ácido salicílico pode modular a síntese de compostos osmoprotetores, como prolina e glicina betaína, além de ativar vias antioxidantes que mitigam os danos oxidativos induzidos pelo estresse salino (Ashraf & Foolad, 2007). O pré-tratamento

de sementes com ácido salicílico pode, portanto, representar uma estratégia eficaz para melhorar o estabelecimento e a produtividade de microverdes cultivados em condições salinas. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do pré-tratamento de sementes com AS no cultivo hidropônico de microverdes de amaranto submetidos a diferentes níveis de salinidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), situada no município de Cruz das Almas, Bahia. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×3 , totalizando seis combinações de tratamentos, com quatro repetições cada. Os fatores avaliados consistiram em dois níveis de pré-tratamento das sementes (0 e 1 mM de ácido salicílico – AS) e três concentrações de salinidade na solução nutritiva (0, 25 e 50 mM de NaCl).

Para o pré-tratamento, amostras de 0,7 g de sementes de amaranto foram cuidadosamente pesadas e imersas em 5 mL das soluções correspondentes (com ou sem AS) por um período de 12 horas, garantindo contato uniforme entre o tegumento e a solução. Após o tratamento, as sementes foram distribuídas de forma homogênea em bandejas de poliestireno expandido, preenchidas com substrato de fibra de coco previamente peneirado e perfurado para assegurar drenagem adequada e evitar acúmulo de água.

O cultivo foi realizado por meio da técnica de fluxo laminar de nutrientes (NFT – *Nutrient Film Technique*), utilizando canais confeccionados a partir de telhas de PVC onduladas. Estes canais foram instalados com inclinação de 3% para facilitar o escoamento e conectados a um reservatório com capacidade de 40 L, contendo a solução nutritiva padrão. A recirculação foi controlada por temporizador, operando em regime intermitente de 15 minutos ligados e 15 minutos desligados, durante o período das 6:00 às 18:00. A colheita dos microverdes ocorreu no 13º dia após a semeadura, momento em que as plantas apresentavam cotilédones totalmente expandidos e coloração uniforme, ponto considerado ideal para consumo e análise.

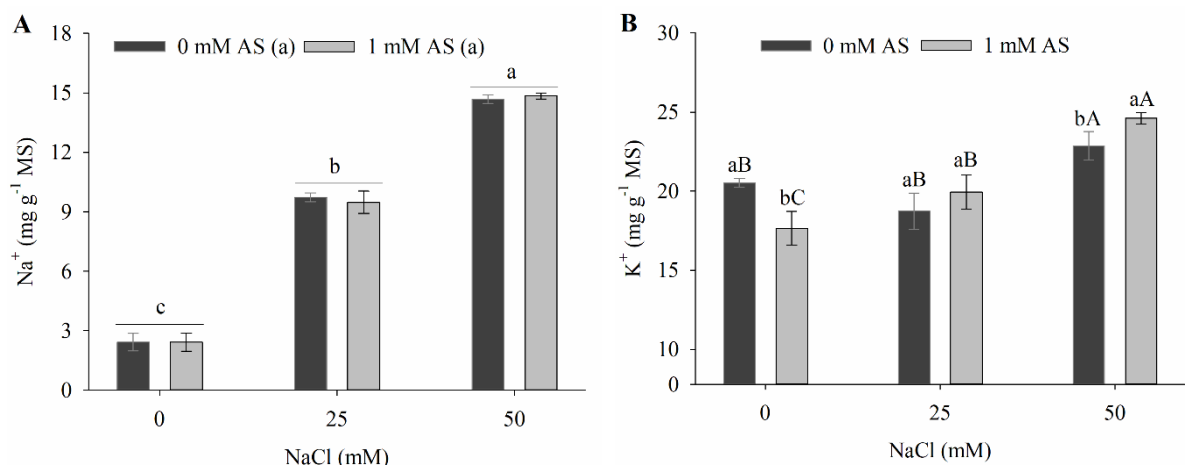
Para a determinação dos teores de íons inorgânicos sódio (Na^+), potássio (K^+) e cloreto (Cl^-), foram utilizados 0,1 g de material vegetal previamente seco em estufa. O material foi extraído com 10 mL de água deionizada e submetido a aquecimento em banho-maria a 100 °C durante 1 hora. Após a filtração, as concentrações de Na^+ e K^+ foram determinadas por

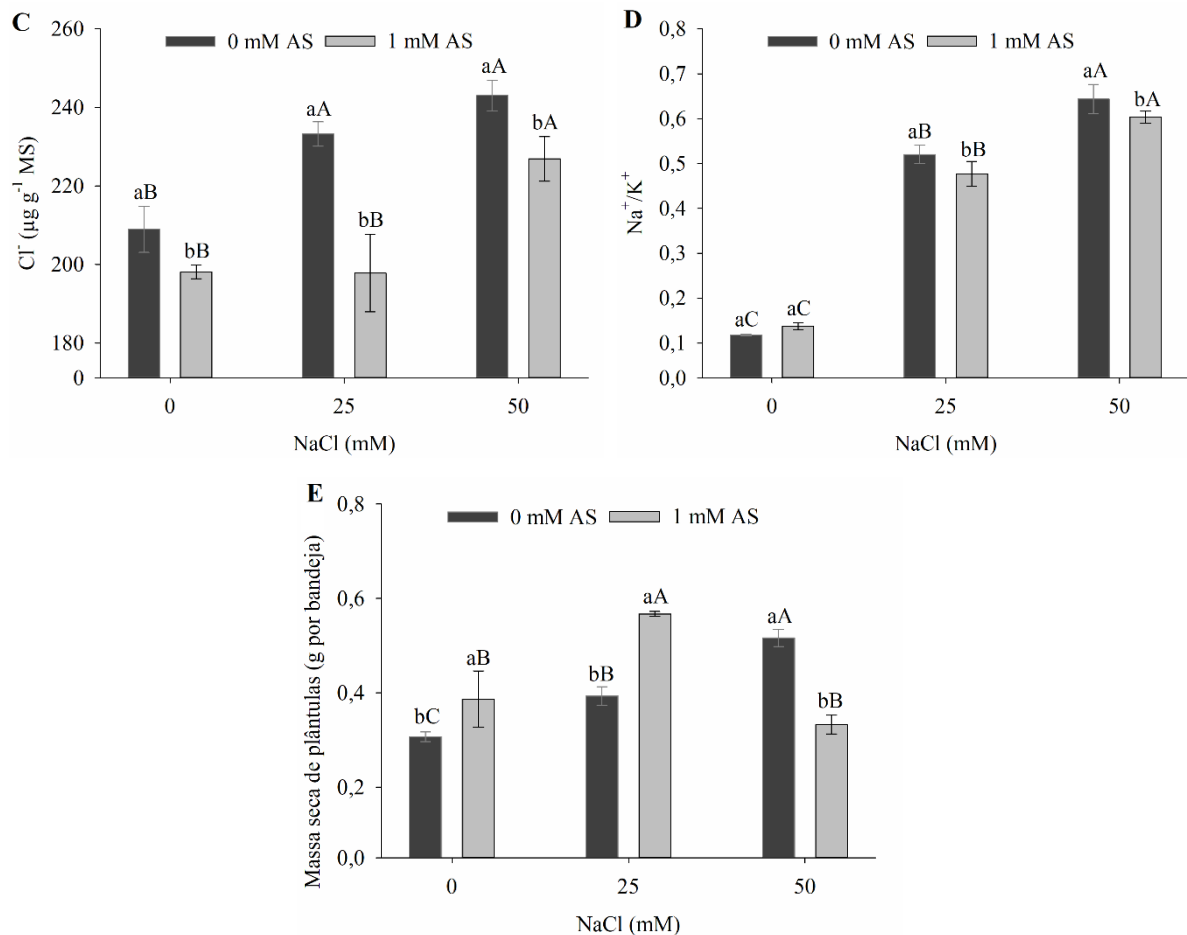
fotometria de chama, conforme Silva et al. (2010), enquanto o teor de Cl^- foi quantificado por espectrofotometria, segundo Silva et al. (2009).

A massa seca das amostras foi obtida por secagem em estufa de circulação forçada de ar, mantida a 65 °C por 48 horas, até atingir peso constante. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o software R (R Core Team, 2024) para processamento estatístico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A salinidade da água de irrigação elevou os teores de sódio (Na^+) nos microverdes de amaranto, enquanto a aplicação de ácido salicílico (AS) não exerceu influência significativa sobre essa variável (Figura 1A). Por outro lado, o AS promoveu um aumento no teor de potássio (K^+) nas plântulas cultivadas sob estresse salino moderado (50 mM de NaCl), mas reduziu esse teor na ausência de salinidade (0 mM de NaCl). De modo geral, os microverdes irrigados com 50 mM de NaCl apresentaram os maiores teores de K^+ (Figura 1B). A aplicação de AS também resultou em redução dos teores de cloreto (Cl^-) em todas as concentrações de NaCl avaliadas (Figura 1C). As maiores razões Na^+/K^+ foram observadas nas plântulas expostas a 50 mM de NaCl; contudo, essa razão foi reduzida com a aplicação de AS nos tratamentos com 25 e 50 mM de NaCl (Figura 1D). Em relação à massa seca, o AS promoveu incremento quando os microverdes foram irrigados com 25 mM de NaCl, mas causou redução sob 50 mM de NaCl. As maiores massas secas foram observadas na combinação de irrigação com 25 mM de NaCl e aplicação de AS (Figura 1E).





Médias seguidas de mesma letra maiúscula e de mesma letra minúscula não diferem para ácido salicílico e para estresse salino, respectivamente, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 1. Teores de sódio (Na^+ , A), potássio (K^+ , B), cloreto (Cl^- , C), razão Na^+/K^+ (D) e massa seca de plântulas (E) de microverdes de amaranto (*Amaranthus cruentus*) submetido ao estresse salino (NaCl) e aplicação de ácido salicílico.

A salinidade da água de irrigação elevou os teores de Na^+ nos microverdes de amaranto, como amplamente relatado em espécies sensíveis ao estresse salino (Munns & Tester, 2008). A aplicação de ácido salicílico (AS), embora não tenha reduzido os níveis de Na^+ , aumentou o teor de K^+ sob 50 mM de NaCl, indicando um possível efeito positivo na seletividade iônica das membranas e na atividade de transportadores de K^+ (Khan et al., 2015). Esse mecanismo é crucial para manter a homeostase iônica, uma vez que a razão Na^+/K^+ é um indicador-chave de tolerância ao sal (Shabala & Cuin, 2008).

A redução do teor de Cl^- com AS em todas as concentrações salinas corrobora estudos que apontam seu papel na restrição da absorção de íons tóxicos ou na sua compartimentalização (Hayat et al., 2010). Esse ajuste iônico pode ter contribuído para o aumento da massa seca sob 25 mM de NaCl com aplicação de AS, evidenciando a atuação do composto como um indutor de tolerância em condições moderadas de estresse (Arfan et al., 2007). Por outro lado, sob 50

mM de NaCl, o AS não impediu a redução da massa seca, sugerindo limitação na sua eficácia sob salinidade mais severa.

CONCLUSÕES

A aplicação de ácido salicílico atenua parcialmente os efeitos do estresse salino em microverdes de amaranto, promovendo melhor balanço iônico (com aumento de K^+ , redução de Cl^- e menor razão Na^+/K^+) especialmente sob salinidade moderada (25 mM de NaCl). Nessa condição, o AS também favoreceu o acúmulo de biomassa, indicando seu potencial como agente mitigador em sistemas irrigados com água salobra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical – INCT AGRIS (CNPq/FUNCAP/CAPES), processos 406570/2022-1 (CNPq) e INCT-35960-62747.65.95/51 (FUNCAP), INCITE Economia Verde (FAPESB), Ciência na Mesa (FAPESB, Pedido Nº 4362/2024).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARFAN, Muhammad; ATHAR, Habib R.; ASHRAF, Muhammad. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress?. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 6, p. 685-694, 2007.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.
- AYENI, A. Nutrient content of micro/baby-green and field-grown mature foliage of tropical spinach (*Amaranthus* sp.) and roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). **Foods**, v. 10, n. 11, p. 2546, 2021.

- HANSON, A. D.; GREGORY, J. F. Folate biosynthesis, turnover, and transport in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 105-125, 2011.
- HAYAT, Qaiser et al. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, n. 1, p. 14-25, 2010.
- KHAN, M. Iqbal R. et al. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 462, 2015.
- MANYELO, Tlou Grace et al. Chemical composition and metabolomic analysis of *Amaranthus cruentus* grains harvested at different stages. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 623, 2022.
- MUNNS, Rana; TESTER, Mark. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.
- PARIHAR, Parul et al. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 6, p. 4056-4075, 2015.
- PLOCEK, G.; KATHI, S.; SIMPSON, C. Effects of eustress induced by low concentrations of salinity on broccoli (*Brassica oleracea*) and purslane (*Portulaca oleracea*) microgreens. **Technology in Horticulture**, v. 3, n. 1, 2023.
- SHABALA, Sergey; CUIN, Tracey A. Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum*, v. 133, n. 4, p. 651-669, 2008.
- SHAH, A. N. et al. Targeting salt stress coping mechanisms for stress tolerance in crops: A review. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 393-400, 2021.
- SILVA, Evandro Nascimento da et al. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 437-445, 2009.
- SILVA, Evandro Nascimento et al. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 3, p. 279-285, 2010.
- SINGH, Vijayata et al. Arabidopsis thaliana FLOWERING LOCUS D is required for systemic acquired resistance. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 26, n. 9, p. 1079-1088, 2013.
- TAN, L. et al. Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. **Food Science and Human Wellness**, v. 9, n. 1, p. 45-51, 2020.

TORUN, Hülya et al. The Effects of exogenous salicylic acid on endogenous phytohormone status in *Hordeum vulgare* L. under salt stress. **Plants**, v. 11, n. 5, p. 618, 2022.

TOSCANO, Stefania et al. Annual garden rocket and radish as microgreens: Seed germination response to thermal and salt stress. **Agronomy**, v. 15, n. 2, p. 361, 2025.

WEBER, C. F. Nutrient content of microgreens: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 34, p. 7643-7651, 2017.

XIAO, Z. et al. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 31, p. 7644-7651, 2012.