

SINALIZAÇÃO MEDIADA POR VOLÁTEIS ENTRE PLANTAS DE SOJA: EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BENZALDEÍDO NA TOLERÂNCIA À SECA

**RAFAELA NUNES DEVES¹; SIMONE RIBEIRO LUCHO²; DOUGLAS ANTÔNIO
POSSO³ JULIANA DOS SANTOS RIBEIRO⁴ LUIS FELIPE BASSO⁵ GUSTAVO
MAIA SOUZA⁶**

¹*Universidade Federal de Pelotas – rafaeladeves@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – simonibelmonte@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – douglasposso@hotmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – julianaribeiro1965@gmai.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – felipestrapazon2409@gmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – gmsouza@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A comunicação entre organismos envolve a emissão de um sinal por um indivíduo e sua recepção por outro, sendo essencial a interpretação e a resposta adequada. Mesmo sem sistema nervoso central, as plantas respondem diariamente a múltiplos estímulos em seus diferentes módulos, priorizando os mais relevantes para evitar gastos energéticos desnecessários (Dudley, 2015). A comunicação pode ocorrer de forma direta, como pela associação com micorrizas, ou indireta, via compostos orgânicos voláteis (VOCs) ou exsudatos radiculares, permitindo interações tanto entre plantas quanto entre estas e outros organismos acima e abaixo do solo (Sharifi, 2020). Além disso, estabelecem interações mutualísticas, atraindo polinizadores, predadores de herbívoros e microrganismos benéficos (Karban, 2021).

A comunicação aérea ocorre principalmente por meio dos VOCs, moléculas químicas sinalizadoras emitidas e absorvidas via estômatos e cutículas. Esses compostos apresentam baixo peso molecular, caráter lipofílico e alta pressão de vapor, o que facilita sua volatilização para a atmosfera. Suas taxas de emissão dependem de fatores como solubilidade, volatilização e difusividade e variam conforme as condições ambientais e a espécie (Midzi et al., 2022). Entre as principais classes de VOCs estão terpenoides, benzenoides, fenilpropanoides, derivados de ácidos graxos, compostos aromáticos e derivados de aminoácidos (Zhou; Jander, 2021; Midzi et al., 2022), cada qual com funções específicas na sinalização.

O benzaldeído (BZ) destaca-se entre os VOCs vegetais como uma molécula aromática formada por anel benzênico e grupo aldeído (Huang et al., 2022). É precursor do ácido salicílico na via de biossíntese a partir da fenilalanina e apresenta múltiplas funções, atuando como composto de defesa, atrativo de polinizadores e agente antifúngico (Schiestl, 2010; Huang et al., 2022). Derivados do benzaldeído, como benzoxazinoides e benzoquinonas, já foram associados à comunicação planta-planta (Massalha et al., 2017). Entre suas funções, o BZ pode participar de respostas adaptativas, especialmente no contexto do efeito *priming*, no qual sinais químicos emitidos por plantas sob estresse preparam vizinhas ainda não afetadas, permitindo respostas mais rápidas e eficientes a desafios futuros (Galviz; Ribeiro; Souza, 2020).

Diante do cenário de mudanças climáticas e da intensificação de danos às culturas por déficit hídrico e altas temperaturas (Midzi et al., 2022; Patra et al.,

2022), compreender o papel de moléculas sinalizadoras como o BZ torna-se estratégico. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar, em *Glycine max* (soja): (i) o potencial da aplicação exógena de BZ em modular o crescimento e metabolismo das plantas emissoras, (ii) seu papel como modulador direto e/ou indireto de sinais aéreos e (iii) as respostas das plantas receptoras a esses sinais. A hipótese é que o BZ, quando aplicado nas plantas emissoras, faz com que essas emitam voláteis que agem como elicitador químico e modulador das respostas nas plantas receptoras, conferindo vantagens adaptativas em condições de déficit hídrico.

2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido com *Glycine max* (soja) em sistema de câmara dupla, no qual um fluxo de ar direcionava os compostos orgânicos voláteis (VOCs) emitidos pelas plantas emissoras para plantas receptoras. As plantas foram cultivadas em vasos de 300 mL com substrato orgânico, mantidas em casa de vegetação sob regime de 16/8 horas luz/escuro, temperatura média de 30 °C durante o dia e 20 °C à noite, e umidade relativa de 60%. No estádio V3, com 20 dias de idade, as plantas foram selecionadas quanto à uniformidade e transferidas para o sistema, composto por oito vasos em cada lado e espaçamento de 1 metro entre câmaras para evitar sinalização cruzada.

Foram estabelecidos seis tratamentos: T1 (controle irrigada), T2 (controle sob déficit hídrico), T3 (1 mM BZ irrigada), T4 (1 mM BZ sob déficit hídrico), T5 (5 mM BZ irrigada) e T6 (5 mM BZ sob déficit hídrico), cada um com três repetições e quatro unidades experimentais. Nos tratamentos sob déficit, a irrigação foi suspensa 24 horas antes da aplicação do benzaldeído (BZ) e mantida por 72 horas, com monitoramento por TDR. As plantas receptoras não receberam aplicação de BZ e seguiram o mesmo regime hídrico das emissoras. A coleta de VOCs foi realizada após 72 horas de déficit hídrico, utilizando a técnica de HS-SPME com fibra DVB/CAR/PDMS 50/30 µm no headspace das câmaras. O procedimento incluiu aplicação do BZ na parte aérea, selagem do lado receptor com filme de polietileno, interrupção do fluxo por 2 horas, reativação por 6 horas e exposição da fibra por 15 horas. Caixas com substrato vazio foram usadas como controle branco. As análises foram conduzidas em GC-MS Shimadzu QP 2010 Ultra, com identificação baseada no banco NIST (similaridade >80%) e quantificação por área de pico, com transformação logarítmica.

Sete dias após a aplicação do BZ, foram avaliadas altura (do solo ao ápice com folhas eretas), área foliar (via scanner e ImageJ) e massa seca da parte aérea, raiz e total (após secagem a 70 °C por 3 dias). A análise estatística foi realizada no SISVAR por ANOVA, seguida de teste de Tukey ($p<0,05$), e complementada por análise de componentes principais (PCA) no software R, visando identificar padrões de variação e efeitos do BZ.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento mostrou que a concentração de 1 mM de benzaldeído (BZ) foi a mais eficiente na promoção do crescimento das plantas emissoras e na indução de respostas positivas nas plantas receptoras (figura 1 C e D). Nas emissoras (figura 1 A e B), o tratamento resultou em maior diâmetro do caule e maior massa seca total e radicular, enquanto nas receptoras favoreceu a manutenção da massa seca da parte aérea e total mesmo sob déficit hídrico. A

análise de componentes principais (PCA) indicou clara separação do grupo tratado com 1 mM em relação aos demais e sobreposição entre plantas sob déficit hídrico tratadas com 1 mM e plantas irrigadas, sugerindo efeito de mitigação do estresse, direto nas emissoras e indireto nas receptoras via VOCs (figura 2). O perfil de compostos voláteis revelou que a dose de 5 mM supriu a emissão da maioria dos VOCs, enquanto 1 mM manteve perfis semelhantes ao controle irrigado, reforçando seu potencial na promoção de crescimento e na comunicação química sob diferentes condições hídricas.

Plantas receptoras expostas ao BZ 1 mM mantiveram o crescimento da parte aérea sob estresse hídrico, diferentemente do controle, indicando seu potencial como mitigador do estresse e modulador positivo do crescimento. O efeito foi mais evidente sob limitação hídrica, sugerindo regulação fisiológica e resposta adaptativa. Compostos emitidos pelas plantas tratadas, como nonanal, p-cymene, D-limonene e decanal, estão associados a defesa, crescimento e comunicação, enquanto o o-xylene, apesar de potencialmente tóxico, pode estar ligado a adaptações e uso como fonte de carbono. As respostas distintas entre parte aérea e raízes indicam possível promoção do crescimento radicular pelo BZ. Os resultados reforçam que plantas receptoras percebem e retransmitem sinais voláteis, gerando efeito de *priming* em cadeia e ampliando defesas coletivas. O BZ, portanto, apresenta potencial para aplicações sustentáveis no manejo vegetal.

Figura 1 – Massa seca da parte aérea (a), raiz (b) e total (c) em plantas de soja emissoras (A) e de plantas receptoras (B) tratadas com (+BZ) ou sem (-BZ). Altura (a), diâmetro do caule (b) e área foliar (c) de plantas emissoras (C) e de plantas receptoras (B) tratadas com (+BZ) ou sem (-BZ). Barras: média ± EP. Letras maiúsculas diferentes: diferenças entre condições hídricas; letras minúsculas: diferenças entre tratamentos com BZ (Tukey, $P \leq 0,05$).

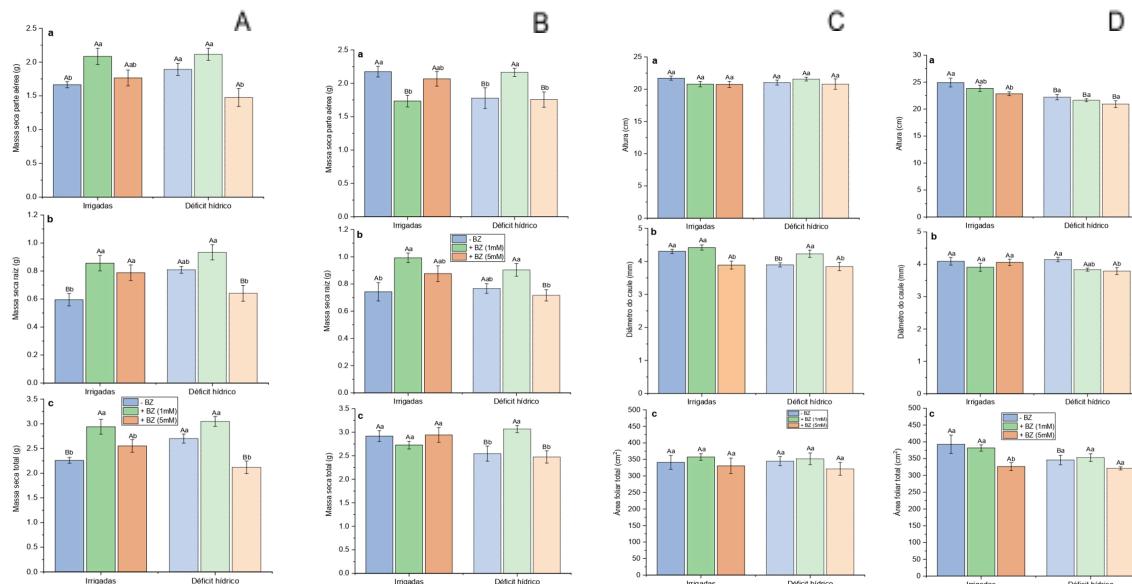
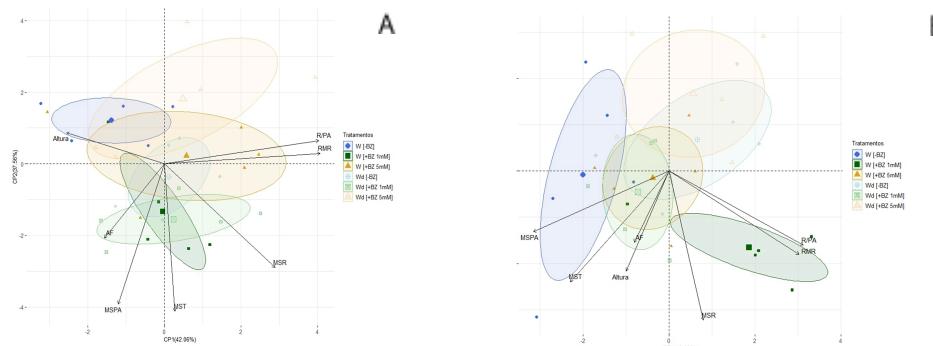


Figura 2: Biplot da análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros de crescimento avaliados em plantas de soja emissoras (A) e receptoras (B) de sinais de compostos orgânicos voláteis (VOCs) após aplicação (+BZ) ou não (-BZ) de benzaldeído.



4. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o BZ atua como elicitor químico, modulando crescimento e resistência ao estresse, com potencial para uso em práticas agrícolas sustentáveis no manejo de estresses abióticos. Ainda são necessários estudos para esclarecer seus mecanismos moleculares e interações com outras moléculas sinalizadoras, mas o trabalho aponta perspectivas promissoras para aplicação estratégica de VOCs frente aos desafios das mudanças climáticas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DUDLEY, S. Plant cooperation. **AoB PLANTS**, v.7, p.113, 2015.

GALVIZ, Y. C. F; RIBEIRO, R. V.; SOUZA, G. M. Yes, plants do have memory. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 32, n. 3, p. 195-202, 2020.

HUANG, X. et al. A peroxisomal heterodimeric enzyme is involved in benzaldehyde synthesis in plants. **Nature Communications**, v. 13, n. 1352, 2022.

KARBAN, R. Plant Communication. **Annual Reviews**, 2021.

MASSALHA, H. et al. Small molecules below-ground: the role of specialized metabolites in the rhizosphere. **The Plant Journal**, v. 90, p. 788–807, 2017.

MIDZI, J. et al. Stress-induced volatile emissions and signalling in inter-plant communication. **Plants**, v. 11, n. 2566, 2022.

PATRA, S. et al. Prospects of Hydrogels in Agriculture for Enhancing Crop and Water Productivity under Water Deficit Condition. **International Journal of Polymer Science**, 2022.

SCHIESTL, F. P. The evolution of floral scent and insect chemical communication. **Ecology Letters**, v. 13, p. 643–656, 2010.

SHARIFI, R.; RYU, C. Social networking in crop plants: Wired and wireless cross-plant communications. **Wiley**, 2020.