FLUORESCÊNCIA NA SINERGIA DE BORO E SILÍCIO COMO AMENIZADOR AO CÁDMIO EM *Alternanthera tenella* Colla.

Morais. Guilherme.S[1]; Neves, Lívia B. das[3]; Miranda, Julia. F[3]; Mendes Marcel. M[2]; Rocha, Ana Caroline. P[2]; Amorim, Andre. S[3]; Gontijo, Andreia B. P. L[3]; Falqueto, Antelmo. R.[3]

guilhermesmassaro@gmail.com, liviabatista31888@gmail.com, juliafelipemiranda.JFM@gmail.com, marcelmerlomendes@gmail.com, annapariz87@gmail.com, andre.s.amorim@hotmail.com, andreia.lima@ufes.br, antelmo.falqueto@ufes.br

[1]Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical - Universidade Federal do Espírito Santo.; [2]Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal - Universidade Federal do Espírito Santo.; [3] Centro Universitário Norte do Espírito Santo - Universidade Federal do Espírito Santo.

Palavras-chave: Estresse. Fisiologia. Aparato fotossintético

INTRODUÇÃO

Alternanthera tenella Colla (Amaranthaceae) é uma herbácea que está presente em todo o território brasileiro, com uma grande incidência em áreas degradadas (Moreira e Bragança, 2011). Essa espécie possui uma grande capacidade de bioacumulação (Rodrigues et al., 2017).

Considerando que a água e o solo são frequentemente contaminados por elementos pesados, também chamados de elementos traços, sabe-se que essa contaminação ocorre principalmente por industrias de mineração (Rogers et al., 2007). Há uma preocupação crescente em relação às ações antrópicas de contaminação por elementos como o cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb) entres outros. Esses elementos, mesmo em pequenas quantidades, são bioacumuláveis em todos os níveis de cadeia trófica (Suman et al., 2018; Hu et al., 2020).

Dentre esses elementos, o Cd se destaca por ser de fácil absorção e acumulação nas estruturas das plantas, onde pode causar desequilíbrio na captação de água e nutrientes por competir por sítios de ligações, além de prejudicar o aparato fotossintético (Rossini et al., 2022).

O cultivo *in vitro* é vantajoso, pois permite o controle dos nutrientes, dos agentes causadores de estresse ou amenizadores, podendo controlar também a temperatura e umidade, facilitando, assim, isolar os efeitos de um determinado metal no metabolismo vegetal (Giampaoli et al., 2012).

O silício (Si) atua na regulação da morfologia, fisiologia e genética de diversas plantas, melhorando a absorção e assimilação de nutrientes, aumentando a taxa fotossintética, condutância estomática e a concentração de CO_2 (Etesami e Jeong, 2018; Malhotra e Kapoor, 2019). Estudos relatam o efeito do Si para aumentar a tolerância e/ou reduzir impactos da toxicidade causado pelos metais pesados (Ur-Rahman et al., 2021). O boro (B) desempenha um papel importante no metabolismo, nas funções estruturais e reprodutivas da planta (Galeriane at al., 2022). Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da sinergia do B e do Si frente ao estresse causado pelo Cd.

METODOLOGIA

1. Cultivo *in vitro*

Como explantes foram utilizados brotos laterais de plantas de *Alternanthera tenella* Colla previamente estabelecidas *in vitro*. Os explantes foram individualizados com auxílio de um bisturi e transferidos para frascos de vidro de 268 mL contendo 50 mL de meio MS (Murashige e Skoog, 1962) solidificado com 10 g L^{-1} de ágar, 20 g L^{-1} de sacarose, suplementado com combinação de Cd (100 µM), B (200 e 750 µM) e Si (40 µM). O experimento foi estabelecido com cinco explantes por frasco, e oito frascos para cada tratamento. O pH dos meios foi estabelecido em 5,8 antes da autoclavagem a 120ºC, durante 20 minutos. Após inoculação em câmara de fluxo laminar, o material vegetal foi mantido em sala de crescimento por 45 dias a 25 ± 2ºC, iluminada com lâmpadas fluorescentes que fornecem 90 µmol m^{-2} s^{-1} de radiação luminosa e fotoperíodo de 16 horas.

2. Análise fisiológica

As análises da eficiência fluorescência transiente da clorofila *a* foram realizadas aos 30 dias após a montagem do experimento, utilizando fluorômetro portátil Handy PEA (Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK) em 20 plantas por tratamento, sendo usada a terceira folha completamente expandida a partir da base. As folhas foram adaptadas ao escuro, por 30 minutos antes da leitura, em uma sala escura, com luz verde sendo aplicada indiretamente. Em seguida, com o auxílio de um clip foliar (Hansatech, UK) foi feita emitindo um flash de luz, proporcionando um pulso de irradiância saturante de 3000 µmol m^{-2} s^{-1} de fótons nas folhas, com duração de 1s. A partir da fluorescência transiente OJIP foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP com auxílio do software Biolyzer (Laboratório de Bioenergética, Universidade de Genebra, Suíça). A interpretação e normalizações dos parâmetros medidos e calculados a partir deste teste foram de acordo com Strasser e Strasser (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independente do tratamento, todas as plantas permaneceram fotossinteticamente ativas. A tabela 1 mostra os dados do F_0, F_m e F_v/F_0 dos tratamentos de sinergia do B e Si frente ao estresse induzido por Cd. Os tratamentos mostraram diferença estatística pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os valores da fluorescência inicial (F_0) e da fluorescência máxima (F_m) foram maiores quando as plantas foram tratadas com 100 µM Cd + 200 µM B. Quanto menor o valor de F_m maior é a inibição das reações fotoquímicas, o que resulta, consequentemente, em maior dissipação da energia luminosa como fluorescência e calor (Kalisz et al., 2023). Os valores da eficiência máxima dos processos fotoquímicos no FSII (F_v/F_0) foram maiores quando as plantas de *Alternanthera tenella* foram submetidas a 100 µM Cd + 200 µM B. Porém, menores valores de F_v/F_0 foram observados nas plantas tratadas com Cd associado a 200 µM B + 40 µM Si e a 750 µM B. Maior F_v/F_0 indica maior eficiência do transporte de elétrons associado á maior eficiência do FSII (Rossini et al., 2022).

Tabela 1: Fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m) e eficiência máxima dos processos fotoquímicos no FSII (F_v/F_0) em plantas de *Alternanthera tenella* cultivadas na presença de Cd, B e Si e combinações.

Tratamento	F_0	F_m	F_v/F_0
100 µM Cd + 200 µM B	513.36^{a}	2082.68^{a}	31552.77^{a}
100 µM Cd + 750 µM B + 40 µM Si	498.2^{ab}	1860.93^{ab}	29111.98^{ab}
100 µM Cd + 200 µM B + 40 µM Si	477.27^{ab}	1829.78^{ab}	24773.73^{b}
100 µM Cd	448^{ab}	1826.86^{ab}	23419.09^{b}
100 µM Cd + 750 µM B	400.31^{b}	1709.18^{b}	22997.21^{b}

Fonte: próprio autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O melhor tratamento foi o de 100 µM Cd + 200 µM B, mostrando que o Si não interferiu no desempenho fotoquímico das plantas de *Alternanthera tenella.*

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPES e à CAPES pela concessão de bolsas de estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ETESAMI. H; JEONG. B.R. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, V. 147, p. 881-896, 2018. (https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063)

GIAMPAOLI. P; TRESMONDI. F; LIMA. G.P.P; KANASHIRO. S; ALVES. E.S; DOMINGOS. M; TAVARES. A.R. Analysis of torelance to copper and zinc in *Aechmea blanchetiana* grown *in vitro*. Springer Link, V. 56, p. 83-88, 2012. (https://link.springer.com/article/10.1007/s10535-012-0020-7)

HU. B; SHAO.S; NI. H; FU. Z; HU. L; ZHOU. Y; MIN. X; SHE. S; CHEN. S; HUNG. M; ZHOU. L; LI. Y; SHI. Z. Current status, spatial features, health risks, and potential driving factors of soil heavy metal pollution in China at province level. Environmental Pollution, V. 266, p. 114961, 2020. (https://doi-org.ez43.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.envpol.2020.114961)

MALHOTRA. C; KAPOOR. R.T. Silicon: A Sustainable Tool in Abiotic Stress Tolerance in Plants. Plant Abiotic Stress Tolerance, p. 333-356, 2019. (https://link-springer-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/chapter/10.1007/978-3-030-06118-0_14)

Moreira HJDC, Bragança HBN (2011) Manual de identificação de plantas infestantes. FMC Agricultural, São Paulo

MURASHIGE, T. & SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum 15: 473-497. 1962.

RODRIGUES. L.C.A; MARTINS. J.P.R; JÚNIOR. O.A; GUILHERME. L.R.G; PASQUAL. M; CASTRO.E.M. Tolerance and potential for bioaccumulation of *Alternathera tenella* Colla to cadmium under in vitro conditions. Springer Link, V. 130, p. 507- 519, 2017. (https://linkspringercom.ez43.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11240-017-1241-4)

ROGERS.N. J; FRANKLIN. N.M; APTE. S.C; BATLEY. G.E. The importance of physical and Chemical characterization in nanoparticle toxicity studies. Integrated Environmental Assessment and Management, V. 3, p. 303- 304, 2007. (**https://doi-org.ez43.periodicos.capes.gov.br/10.1002/ieam.5630030219**)

ROSSINI. F.R; MATINS. J.P.R; MOREIRA. S.W; CONDE. L.T; CLAIRVIL. E; BRAGA. P.C.S; FALQUETO. A.R; GONTIJO. A.P.L. In vitro morphophysiological responses of *Alternathera tenella* colla (Amaranthaceae) to stress induced by cadmium and the attenuating action of silicon. Springer Link, V. 150, p. 223-236, 2022. (https://link-springer-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11240-022-02263-y)

SUMAN. J; UHLIK. O; VIKTOROVA. J; MACEK. T. Phytoextraction of Heavy Metals: A Promising Tool For Clean-Up of Polluted Environment?. Frontiers in Plants Science, V. 9, p. 1476, 2018. (https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01476)

UR-RAHMAN. S; XUEBIN.Q; ZHAO.Z; DU. Z; IMTIAZ. M; MEHMOOD. F; HONGFEI. L; HUSSAIN. B; ASHRAF.M.N. Alleviatory effects os Slicon on the morphology, physiology, and antioxidantive mechanisms of wheat (*Triticum aestivum* L.) roots under cadmium stress in acidic nutrient solutions. Scientific Reports, V. 11, 2021. (https://www-nature.ez43.periodicos.capes.gov.br/articles/s41598-020-80808-x)

KALISZ. A; KORNÁS.A; SKOCZOWSKI.A; OLIWA.J; JURKOW.R; GIL.J; SEKARA.A; SALATA.A; CARUSO.G. Leaf chlorrophyll fluorecence and reflectance of oakleaf lettuce exposed to metal and metal (oid) oxide nanoparticles. BMC Plant Biology, V. 23, p 329, 2023. (https://bmcplantbiol-biomedcentral-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/articles/10.1186/s12870-023-04305-9)