

BIOCARVÃO E BIOESTIMULANTE COMO MITIGADORES DO ESTRESSE SALINO NO ALGODÃO

Bruna Alves da Silva¹, Maria Brena dos Santos Pinto², Raquel Rodrigues Moura², José Thomas Machado de Sousa³, Mirelysia Meireles Moura⁴, Rosilene Oliveira Mesquita⁵

RESUMO: O algodoeiro é uma cultura de grande relevância econômica, sendo cultivado em regiões com baixa disponibilidade hídrica. Nesses ambientes, o uso de água salina para irrigação tem se configurado como uma alternativa viável para suprir a demanda hídrica. Contudo, essa prática pode acarretar o aumento da salinidade do solo, o que compromete o desenvolvimento das plantas e a produtividade da cultura. Diante desse desafio, tecnologias como o biocarvão e os bioestimulantes têm se mostrado promissoras na mitigação dos efeitos negativos do estresse salino. Com base nisso, objetivou-se avaliar a ação isolada do biocarvão e do bioestimulante, bem como o efeito da aplicação combinada desses insumos, na mitigação do estresse salino no algodão. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4×2 , correspondente a quatro estratégias de mitigação: controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e biocarvão + bioestimulante (T4), e duas condutividades elétricas da água de irrigação (0,2 e 4,5 dS m⁻¹). Os resultados indicaram que o biocarvão (T2) proporcionou melhor desempenho fisiológico das plantas, especialmente nos parâmetros de fotossíntese e transpiração, sob condições de estresse salino. Por sua vez, o bioestimulante (T3) demonstrou maior eficácia na preservação dos pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas, também em condições salinas. A aplicação combinada dos dois insumos (T4) não resultou em efeitos sinérgicos, sugerindo que atuam de forma independente. Dessa forma, tanto o biocarvão quanto o bioestimulante se mostram estratégias viáveis para atenuar os impactos da salinidade e promover a sustentabilidade da produção de algodão em regiões semiáridas.

PALAVRAS-CHAVE: (*Gossypium hirsutum* L.), estresse abiótico, bioinsumos.

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, UFC, 60455-760, Fortaleza, CE. Fone (085) 99676-4260. E-mail: brunaalvs@alu.ufc.br.

² Graduanda em Agronomia, UFC, 60455-760, Fortaleza, CE.

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, UFC, 60455-760, Fortaleza, CE.

⁴ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, UFC, 60455-760, Fortaleza, CE.

⁵ Prof. Doutora do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, UFC, 60455-760, Fortaleza, CE.

BIOCHAR AND BIOSTIMULANT AS MITIGATORS OF SALT STRESS IN COTTON

ABSTRACT: Cotton is a crop of significant economic importance and is cultivated in regions with low water availability. In such environments, the use of saline water for irrigation has emerged as a viable alternative to meet water demands. However, this practice may lead to increased soil salinity, which compromises plant development and crop productivity. Considering this challenge, technologies such as biochar and biostimulants have shown promise in mitigating the negative effects of salt stress. Based on this, the objective was to evaluate the isolated effects of biochar and biostimulants, as well as their combined application, mitigating salt stress in cotton. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 4 × 2 factorial scheme, corresponding to four mitigation strategies: control (T1), biochar (T2), biostimulant (T3), and biochar + biostimulant (T4), and two levels of irrigation water electrical conductivity (0.2 and 4.5 dS m⁻¹). The results indicated that biochar (T2) promoted better physiological performance of the plants, especially in terms of photosynthesis and transpiration, under saline stress conditions. The biostimulant (T3), in turn, proved more effective in preserving photosynthetic pigments, such as chlorophylls, also under saline conditions. The combined application of both inputs (T4) did not result in synergistic effects, suggesting that they act independently. Therefore, both biochar and biostimulants are viable strategies to mitigate the impacts of salinity and to contribute to the sustainability of cotton production in semi-arid regions.

KEYWORDS: (*Gossypium hirsutum* L.), abiotic stress, bioinputs.

INTRODUÇÃO

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura de grande importância comercial, representando cerca de 35% do consumo global de fibras Salimath et al., (2021). É majoritariamente cultivado em regiões baixa disponibilidade hídrica Abdelraheem et al., (2019). Para enfrentar a crescente escassez hídrica, o uso de água salina, tem se tornado uma alternativa para a produção agrícola Zhao et al., (2022). No entanto, seu uso inadequado tem influência nos processos fisiológicos da planta, como a fotossíntese e a transpiração She et al., (2018). Nesse contexto são necessárias novas tecnologias que atenuem o estresse salino nas culturas.

Nos últimos anos, o uso de bioestimulantes na agricultura tem se intensificado devido à sua composição diversificada — incluindo extratos de algas, substâncias húmicas, fenóis e aminoácidos — e à sua eficácia na indução da tolerância das plantas a estresses abióticos Yakhin et al., (2017); Zamljen et al., (2022); Del Buono et al., (2023).

O biochar é um material sólido, rico em carbono, com estrutura porosa Liu et al., (2024). É produzido pelo processo de pirólise de materiais biológicos como, madeira, folhas e resíduos agrícolas, como a casca do coco verde, em altas temperaturas e em ambientes anaeróbicos Kurniawan et al. (2023). Devido as suas propriedades, o biochar apresenta propriedades que melhoram as características físico-químicas do solo salino, o que pode aumentar a estrutura porosa do solo e sua retenção de água, favorecendo o desenvolvimento da planta Xiaoqin et al., (2021).

Com isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o uso de biocarvão da casca de coco verde e bioestimulante na mitigação do estresse salino no algodão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de fevereiro a maio de 2025, em casa de vegetação situada na Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza-CE. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4×2, correspondendo a quatro estratégias de mitigação do estresse salino (T1 = controle; T2= biocarvão; T3= bioestimulante; T4= biocarvão + bioestimulante) e duas condutividades elétricas da água de irrigação: 0,2 dS m⁻¹ (controle) e 4,5 dS m⁻¹ (salino); com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais.

O biocarvão utilizado foi o da casca do coco verde que foi produzido utilizando o processo de pirólise em forno caseiro, com taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹ e temperatura final de carbonização entre 400° C e 500° C. Após a carbonização, o material foi triturado, peneirado em malha de 0,5 mm e incorporado ao solo.

O bioestimulante utilizado foi o Naturamin[®] – WSP, composto por 80% de aminoácidos livres (Asparagina 6,25%; Alanina 4,25%; Arginina 4,90%; Cisteína 1,02%; Glutamina 9,35 %; Glicina 6,80 %; Histidina 1,30 %; Prolina 9,90 %; Valina 4,70 %; Metionina 0,46% ; Lisina 1,30 %; Leucina 5,90 %; Serina 11,58 %; Tirosina 0,65 %; Treonina 4,27 %; Fenilalanina 4,40%; Isoleucina 3,00%), foi aplicado via pulverização foliar aos 31 e 45 dias após a

semeadura (DAS), com a dose recomendada para a cultura do algodão. O tratamento controle foi pulverizado com água destilada.

As sementes utilizadas foram da cultivar de algodão FiberMax FM 985GLTP da Basf[®]. A água da irrigação (0,2 dS m⁻¹) foi procedente do abastecimento da UFC. A água de condutividade elétrica de 4,5 dS m⁻¹, foi obtida dissolvendo NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O, mantendo-se a proporção equivalente de 7:2:1, respectivamente, de acordo com os estudos de Medeiros (1992) sobre os principais sais presentes nas águas do Nordeste do Brasil.

Aos 47 DAS, coincidente com o estágio de floração, foram realizadas medições da taxa fotossintética líquida (*A*), condutância estomática (*g_s*) e taxa de transpiração (*E*), utilizando um analisador de gases por infravermelho (IRGA, modelo LI-6400XT, LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, EUA). Os teores de clorofila a e clorofila b foram estimados com base nas seguintes equações:

$$\text{Clorofila a} = (12,47 \times A_{665}) - (3,62 \times A_{649}) \quad (1)$$

$$\text{Clorofila b} = (25,06 \times A_{649}) - (6,50 \times A_{665}) \quad (2)$$

Para a análise estatística, foi utilizado o software R (versão 4.0.2; R Core Team, 2020), enquanto os gráficos foram elaborados no software SigmaPlot (versão 11.0).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos pigmentos fotossintéticos demonstraram que o tratamento com bioestimulante (T3) proporcionou elevado teor de clorofila, principalmente sob estresse salino (condutividade de 4,5 dS m⁻¹). O conteúdo de clorofila a (Figura 1A) nos tratamentos com biocarvão (T2) e com a combinação biocarvão + bioestimulante (T4) foram significativamente inferiores ao T3, com reduções de 71,0% e 55,6%, respectivamente. Mesmo sob baixa salinidade (0,2 dS m⁻¹), T3 manteve os maiores teores de clorofila a, superando T2 e T4 em 1,68% e 7,82%, respectivamente.

Na condutividade de 0,2 dS m⁻¹ o conteúdo de clorofila b (Figura 1B) foi maior em T2 com média de 0,90 mg g⁻¹ MS. Enquanto o menor foi observado no tratamento controle (T1) com média de 0,61 mg g⁻¹ MS. Dentre as estratégias de mitigação em 4,5 dS m⁻¹ o T3 apresentou resultado 64,6% superior ao tratamento com biocarvão e 49,4% nas estratégias de mitigação combinadas (T4).

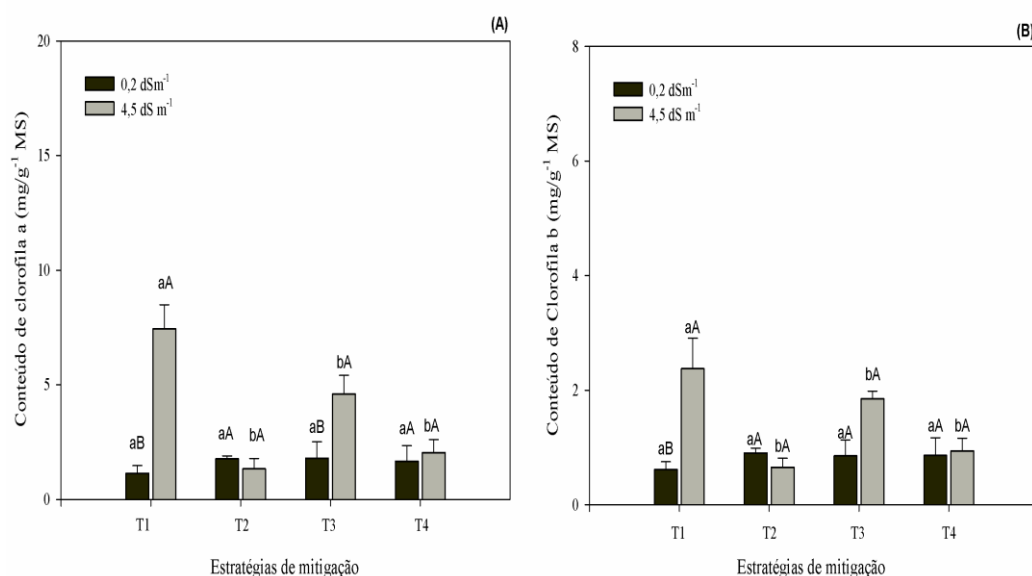


Figura 1. Conteúdo de clorofila a (A) e clorofila b (B) em diferentes estratégias de mitigação. T1 = controle; T2= biocarvão; T3= bioestimulante; T4= biocarvão +bioestimulante.

Os teores de clorofila e outros pigmentos fotossintéticos são indicadores sensíveis da tolerância das plantas ao estresse salino, o qual, de modo geral, promove a redução desses compostos (Li et al., 2025). Conforme a intensidade do estresse, a atividade da enzima clorofilase pode ser intensificada, acelerando a degradação da clorofila (Nóbrega et al., 2024).

O resultado obtido mostrou que as plantas tratadas com bioestimulante (T2) apresentaram valores mais expressivos de clorofila a e b, indicando melhor desempenho fotossintético e tolerância ao estresse, sugerindo a ação do bioestimulante como um modulador fisiológico. O resultado foi semelhante ao encontrado por Ennoury et al., (2022) que observou um aumento no conteúdo de clorofila no feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) sob estresse salino com aplicações de bioestimulante.

O tratamento com biocarvão (T2) se destacou na fotossíntese líquida (Figura 2A), com valores superiores em ambas as condutividades elétricas. Em 0,2 dS m⁻¹, T2 teve desempenho 12,8% maior que o controle (T1), superando T3 em 43,9% e T4 em 11,4%. Em 4,5 dS m⁻¹ (estresse salino), o T2 manteve vantagem: 50,6% superior ao T1, 14,9% ao T3 e 28% ao T4.

Na transpiração (Figura 2B), o T3 liderou em baixa salinidade (9,17 mmol H₂O m⁻² s⁻¹), mas sob estresse salino o maior valor foi registrado no T2, com aumentos de 23,9% sobre T1, 10,4% sobre T3 e 13,7% sobre T4. A condutância estomática não diferiu entre os tratamentos.

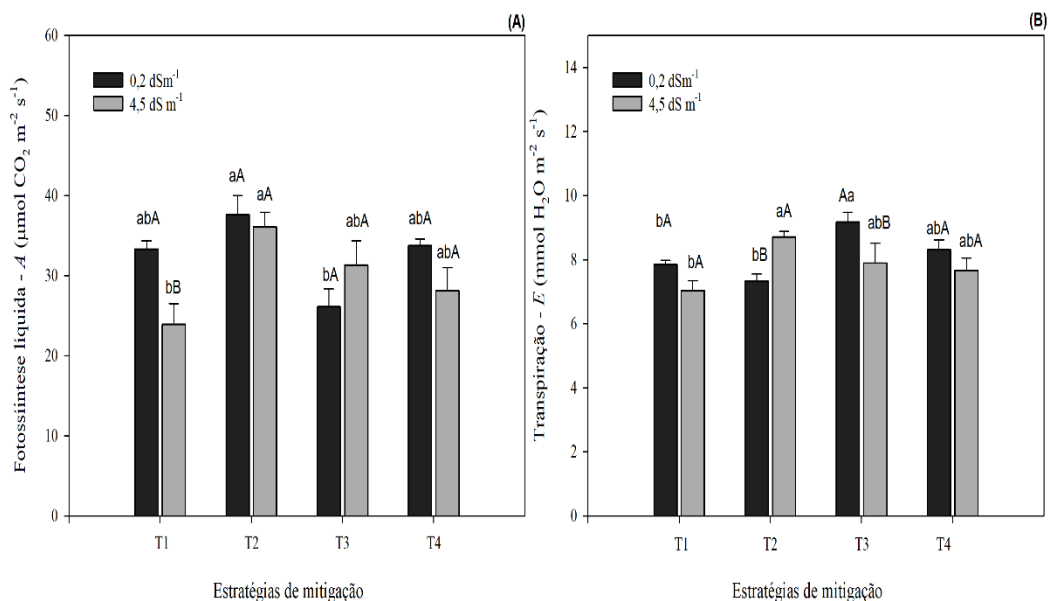


Figura 2. Fotossíntese a (A) e transpiração (B) no em diferentes estratégias de mitigação. T1 = controle; T2= biocarvão; T3= bioestimulante; T4= biocarvão +bioestimulante.

Esses resultados demonstram que o biocarvão atua na melhoria das trocas gasosas e na eficiência hídrica, atenuando os efeitos negativos do estresse salino, o que favorece o crescimento e a produtividade do algodoeiro, como relatado por Hou et al. (2023).

CONCLUSÕES

O bioestimulante mostrou-se mais eficiente na conservação dos pigmentos fotossintéticos, enquanto o biocarvão beneficiou as trocas gasosas. Sem efeito combinado, os tratamentos agem de forma independente, sendo ambos eficazes na mitigação dos efeitos danosos do estresse salino.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (INCT) em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical-INCTAGriS (CNPq/Funcap/Capes), processos 406570/2022-1 (CNPq) e Processo INCT-35960-62747.65.95/51 (Funcap).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELRAHEEM, A.; ESMAEILI, N.; O'CONNELL, M.; ZHANG, J. Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. **Industrial Crops and Products**, v. 130, p. 118–129, 2019.
- DEL BUONO, D.; REGNI, L.; PROIETTI, P. Abiotic Stresses, Biostimulants and Plant Activity. **Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 191, 2023.
- ENNOURY, A.; BENMRID, R.; NHHALA, N.; ROUSSI, Z.; LATIQUE, S.; ZOUAOUI, Z.; NHIRI, M. River's *Ulva intestinalis* L. extract protects common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) against salt stress. **South African Journal of Botany**, v. 150, p. 334–341, 2022.
- HOU, J.; ZHANG, J.; LIU, X.; MA, Y.; WEI, Z.; WAN, H.; LIU, F. Effect of biochar addition and reduced irrigation regimes on growth, physiology and water use efficiency of cotton plants under salt stress. **Industrial Crops and Products**, v. 198, p. 116702, 2023.
- KURNIAWAN, T. A.; OTHMAN, M. H. D.; LIANG, X.; GOH, H. H.; GIKAS, P.; CHONG, K.-K.; CHEW, K. W. Challenges and opportunities for biochar to promote circular economy and carbon neutrality. **Journal of Environmental Management**, v. 332, p. 117429, 2023.
- LI, L.; LIU, Y.; JIA, Y.; YUAN, Z. Investigation into the mechanisms of photosynthetic regulation and adaptation under salt stress in lavender. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 219, p. 109376, 2025.
- LIU, Y.; JIANG, W.; ZHAO, W.; XU, L.; WANG, M.; JIAN, J.; CHEN, X.; WANG, E.; YAN, J. Effects of biochar application on soil properties and the growth of *Melissa officinalis* L. under salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 338, p. 113704, 2024
- MEDEIROS, J. F. DE. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB e CE**. 1992. 173 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.
- NÓBREGA, J. S., DE LIMA, G. S., FERREIRA, J. T. A., DA SILVA, J. C. A., DOS ANJOS SOARES, L. A., DE OLIVEIRA SOUSA, V. F., DE OLIVEIRA FREIRE, P. V., DE FÁTIMA, R. T., DE SOUSA ALMEIDA, F., GHEYI, H. R., & MAIA, J. M. Ascorbic Acid Alleviates Salt Stress on the Physiology and Growth of Guava Seedlings. **Phyton**. v. 94, n. 5, p. 1587–1600, 2025.

SALIMATH, S. S.; ROMSDAHL, T. B.; KONDA, A. R.; ZHANG, W.; CAHOON, E. B.; DOWD, M. K.; WEDEGAERTNER, T. C.; HAKE, K. D.; CHAPMAN, K. D. Production of tocotrienols in seeds of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) enhances oxidative stability and offers nutraceutical potential. **Plant Biotechnology Journal**, v. 19, n. 6, p. 1268–1282, 2021.

SHE, D.; SUN, X.; GAMARELDAWLA, A. H. D.; NAZAR, E. A.; HU, W.; EDITH, K.; YU, S. Benefits of soil biochar amendments to tomato growth under saline water irrigation. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 14743, 2018.

SUN, X.; SHI, D.; FU, Y.; WANG, H.; GAO, L. Three-dimensional fractal characteristics of soil pore structure and their relationships with hydraulic parameters in biochar-amended saline soil. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104809, 2021

YAKHIN, O. I.; LUBYANOV, A. A.; YAKHIN, I. A.; BROWN, P. H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 2049, 2017.

ZAMLJEN, T.; MEDIC, A.; HUDINA, M.; VEBERIC, R.; SLATNAR, A. Biostimulative effect of amino acids on the enzymatic and metabolic response of two *Capsicum annuum* L. cultivars grown under salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 309, p. 111713, 2023.