



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE AGRONOMIA

MARIA BRENA DOS SANTOS PINTO

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO COM USO DE BIOCARVÃO E BIOESTIMULANTE
NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DANOSOS DA SALINIDADE NO CRESCIMENTO
E FISIOLOGIA DE PLANTAS DE ALGODÃO HERBÁCEO.**

FORTALEZA

2026

MARIA BRENA DOS SANTOS PINTO

ESTRATÉGIAS DE MANEJO COM USO DE BIOCÁRVÃO E BIOESTIMULANTE NA
MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DANOSOS DA SALINIDADE NO CRESCIMENTO E
FISIOLOGIA DE PLANTAS DE ALGODÃO HERBÁCEO.

Monografia apresentada a Coordenação do
Curso de Agronomia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título Engenheira Agrônoma.

Orientador: Profa. Dra. Rosilene Oliveira
Mesquita

Coorientadora: Ma. Bruna Alves da Silva

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P729e Pinto, Maria.

Estratégias de manejo com uso de biocarvão e bioestimulante na mitigação dos efeitos danosos da salinidade no crescimento e fisiologia de plantas de algodão. / Maria Pinto. – 2026.
43 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2026.

Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.

Coorientação: Profa. Ma. Bruna Alves da Silva.

1. Estresse abiótico. 2. Homeostase iônica . 3. Pigmentos fotossintéticos. I. Título.

CDD 630

MARIA BRENA DOS SANTOS PINTO

ESTRATÉGIAS DE MANEJO COM USO DE BIOCÁRVÃO E BIOESTIMULANTE NA
MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DANOSOS DA SALINIDADE NO CRESCIMENTO E
FISIOLOGIA DE PLANTAS DE ALGODÃO HERBÁCEO.

Monografia apresentada a Coordenação do curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 16/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Bruna Alves da Silva (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Letícia Kenia Bessa de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Johny de Souza Silva
FERTSAN

A Deus.

Aos meus pais.

Aos meus familiares, professores e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar a oportunidade de concluir minha graduação e pelas experiências e pessoas que Ele colocou no meu caminho e que me fizeram chegar até este momento. Sou grata por tudo que a Universidade Federal do Ceará me proporcionou e que a educação e o conhecimento sejam vistos como o maior ato revolucionário no Brasil.

Agradeço à minha avó materna Mosa (In Memoriam) e minha tia Fátima (In Memoriam) que sempre cuidaram e continuam cuidando de mim mesmo de longe, sou grata pela educação, princípios e valores que me deram e que só cheguei até aqui por elas.

Agradeço aos meus pais, Alberto e Simone, que sempre me apoiaram e me deram forças pra continuar, especialmente minha mãe que esteve comigo nos momentos difíceis, me dando suporte e motivação pra alcançar meus objetivos.

Agradeço aos meus irmãos, Breno e Brian, que foram meus pontos de escape em momentos de tensão, sempre me dando muito amor, carinho e proteção, amo muito vocês.

Agradeço ao amigo e namorado Renan, que participou de tudo comigo e esteve comigo nas horas boas e ruins, me dando apoio e suporte. Sou muito grata por tudo.

Agradeço aos amigos que pude fazer e manter no decorrer da minha graduação, assim como todas os colegas que fizeram esses 5 anos parecer mais leve. Grata ao grupo PET Agronomia UFC, que foi durante um ano grande impulsionador do meu crescimento, grata ao Grupo de Estudos em Ecofisiologia da Produção e Nutrição de Plantas (GEEPEN) o qual me fez conhecer pessoas as quais eu tenho enorme admiração, como Letícia Bessa, Johny de Souza e Bruna Alves, pessoas estas que fizeram toda diferença na minha formação como profissional.

Agradeço de forma especial à minha orientadora e coordenadora do GEEPEN, professora Rosilene Oliveira Mesquita, a qual me acompanhou e tutorou durante toda minha graduação, sempre me direcionando e mostrando novos caminhos e possibilidades de desenvolvimento pessoal e profissional, deixo minha profunda admiração e respeito.

Agradeço e nem poderia deixar de agradecer à minha coorientadora, Bruna Alves, que me acompanhou, pegou na minha mão e me deu todo suporte possível para que eu estivesse inserida em um meio saudável onde eu pudesse equilibrar todas as cobranças da academia com um aprendizado de qualidade, tenho um imenso orgulho de ter sido acompanhada por ela.

Agradeço a Dra. Stelamaris do Departamento de Bioquímica da UFC que é de um conhecimento enorme e sempre esteve solícita para me ajudar, sou muito grata.

Agradeço a todos que fizeram parte deste experimento de TCC e me ajudaram muito na condução e participaram de “perrengues” comigo, Thomas Sousa, Mirelysia Meireles,

Bruna Alves, Raquel Moura, Carlos Thomaz, Samuel Nogueira e amigos que participaram comigo e me ajudaram, Larissa Silveira, Renan Pereira, Jônathas Eugênio, Iago VilaNova.

Por fim, agradeço todos os professores da graduação que admirei e demonstram amor ao ensino sendo apoio a todos os discentes em sala de aula e viagens de campo.

“Não é o crítico que importa, nem aquele que aponta onde foi que o homem tropeçou ou como o autor das façanhas poderia ter feito melhor. O crédito pertence ao homem que está por inteiro na arena da vida, cujo o rosto está manchado de poeira, suor e sangue; que luta bravamente, que erra, que decepciona, por que não há esforço sem erros e decepções, mas que, na verdade, se empenha em seus feitos; que conhece o entusiasmo, as grandes paixões, que se entrega a uma causa digna, que na melhor das hipóteses, conhece no final o triunfo da grande conquista e que, na pior, se fracassar, ao menos fracassa ousando grandemente.” (Theodore Roosevelt, 1910)

RESUMO

O algodão é uma cultura de grande importância comercial, em razão de sua fibra amplamente utilizada pela indústria têxtil, assim como de seus diversos subprodutos. Tendo em vista que é cultivado em diversos países e sob distintas condições climáticas, o algodão apresenta oscilações em sua produtividade, sendo a salinidade um dos principais fatores limitantes. Como forma de mitigar os efeitos danosos causados pelos sais, a adoção de atenuadores torna-se cada vez mais necessária. O biocarvão à base da casca de coco verde e o uso de bioestimulante tornam-se alternativas na mitigação, devido aos seus distintos mecanismos de aplicação e ação. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar como a adoção de diferentes estratégias pode mitigar o efeito do estresse salino no algodão. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal do Ceará, pertencente ao Departamento de Fitotecnia, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial (4×2), em que o primeiro fator corresponde às estratégias de mitigação (controle, biocarvão, bioestimulante e biocarvão + bioestimulante) e o segundo fator à condutividade elétrica da água de irrigação ($0,2 \text{ dS m}^{-1}$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$). Foram avaliados parâmetros morfofisiológicos e bioquímico. Os resultados mostraram acúmulo de Na^+ foliar e maior extravasamento de eletrólitos em tratamento de estresse por salinidade. O uso do biocarvão elevou a fotossíntese líquida e a transpiração, resultando em maior eficiência no uso da água; houve maior concentração de K^+ radicular, resultando em menor relação Na^+/K^+ . Com o uso do bioestimulante, observou-se acréscimo no número de folhas e no conteúdo de clorofila a, b e total e carotenoides. Os resultados obtidos com o uso combinado do biocarvão e do bioestimulante não se mostraram eficientes na mitigação do estresse salino. Dessa maneira, entende-se que a combinação do biocarvão e do bioestimulante não mostrou eficácia na atenuação do estresse salino, sendo recomendado o uso isolado das duas estratégias.

Palavras-chave: Estresse abiótico; Homeostase iônica; pigmentos fotossintéticos.

ABSTRACT

Cotton is a crop of great commercial importance due to its fiber, which is widely used by the textile industry, as well as for its various by-products. Considering that it is cultivated in several countries and under distinct climatic conditions, cotton shows fluctuations in productivity, with salinity being one of the main limiting factors. To mitigate the harmful effects caused by salts, the adoption of ameliorating strategies has become increasingly necessary. Coconut shell-based biochar and the use of biostimulants have emerged as alternatives for mitigation due to their distinct mechanisms of application and action. Therefore, the objective of the present study was to evaluate how the adoption of different strategies can mitigate the effects of salt stress on cotton. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Ceará, Department of Crop Science, in a completely randomized design (CRD), arranged in a 4×2 factorial scheme, in which the first factor corresponded to the mitigation strategies (control, biochar, biostimulant, and biochar + biostimulant), and the second factor corresponded to the electrical conductivity of the irrigation water (0.2 dS m^{-1} and 4.5 dS m^{-1}). Morphophysiological, biochemical, parameters were evaluated. The results showed foliar accumulation of Na^+ and higher electrolyte leakage in salt stress. The use of biochar increased net photosynthesis and transpiration, resulting in higher water use efficiency, as well as higher K^+ concentration in the roots, leading to a lower Na^+/K^+ ratio. The use of biostimulant resulted in an increase in the number of leaves and in the content of chlorophyll a, b, total, and carotenoids. The results obtained with the combined use of biochar and biostimulant were not efficient in mitigating salt stress. Thus, it is understood that the combination of biochar and biostimulant did not prove effective in alleviating salt stress, and the isolated use of each strategy is recommended.

Keywords: Abiotic stress; Ionic homeostasis; photosynthetic pigments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Casa de Vegetação / Localização do Experimento	21
Figura 2	– Tratamentos do Experimento	22
Figura 3	– diâmetro do caule (A) em função da condutividade elétrica da água de 0,2 dS m ⁻¹ e 4,5, o número de folhas (B) em folhas de algodão nos tratamentos: controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e combinação de biocarvão + bioestimulante (T4)	28
Figura 4	– fotossíntese líquida (A) (A) e transpiração (B) em folhas de algodão nos tratamentos T1=controle; T2=biocarvão; T3= bioestimulante; T4 (biocarvão + bioestimulante)	29
Figura 5	– Eficiência no uso da água (EUA) em função da salinidade (0,2 e 4,5 dS m ⁻¹) e em função dos tratamentos: Controle (T1), Biocarvão (T2), Bioestimulante (T3) e Combinação do biocarvão e bioestimulante (T4)	30
Figura 6	– Cl a(A), cl b(B), cl total (C) e Crt (D) das estratégias de mitigação em função da condutividade elétrica da água (0,2 e 4,5 dS m ⁻¹) nas estratégias de mitigação, T1=controle; T2=biocarvão; T3= bioestimulante; T4 (biocarvão + bioestimulante)	32
Figura 7	– Extravasamento de eletrólitos (EE) em função dos grupos de salinidade (0,2 dS m ⁻¹) e (4,5 dS m ⁻¹). Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05)	33
Figura 8	– Potássio (K ⁺) nas folhas em função das estratégias de mitigação controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e combinação de biocarvão + bioestimulante (T4) (A) e sódio (Na ⁺) na folha em função das salinidades 0,2 e 4,5 dS m ⁻¹	34
Figura 9	– Potássio (K ⁺) Potássio (K ⁺) em função dos tratamentos controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e combinação de biocarvão e bioestimulante (T4) e das salinidades (A) e sódio (Na ⁺) em função das salinidades 0,2 e 4,5 dS m ⁻¹ (B) em raízes	34
Figura 10	– Comparação dos teores de K ⁺ nas duas CE e entre tratamentos controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e biocarvão+bioestimulante (T4) (A) e teor de Na ⁺ nas raízes em função das salinidades (B)	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do Biocarvão	22
Tabela 2 – Variáveis de trocas gasosas no algodoeiro em função das salinidades 0,2 dS m ⁻¹ e 4,5 dS m ⁻¹	29
Tabela 3 – Médias entre os tratamentos para os pigmentos fotossintéticos Clorofila a (Cl a), Clorofila b (Cl b), Clorofila total (Cl t) e Carotenoides (Crt) em função da salinidade, em um nível de significância $p \leq 0,05$ em teste de Tukey	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	HIPÓTESE	16
3	OBJETIVO	16
3.1	Geral	16
3.2	Específicos	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1	Aspectos gerais do algodão	17
4.2	Efeitos do estresse salino em plantas	17
4.3	Biocarvão e bioestimulantes como atenuadores do estresse salino	18
5	MATERIAS E MÉTODOS	
5.1	Localização do experimento	21
5.2	Delineamento experimental e tratamentos	21
5.3	Caracterização do biocarvão e do bioestimulante	22
5.4	Condução do experimento	23
5.5	Variáveis analisadas	24
5.5.1	<i>Variáveis biométricas</i>	24
5.5.2	<i>Variáveis fisiológicas</i>	24
5.5.2.1	<i>Trocas gasosas</i>	25
5.5.3.2	<i>Pigmentos fotossintéticos</i>	25
5.5.3	<i>Variáveis bioquímicas</i>	26
5.5.3.1	<i>Determinação de íons inorgânicos</i>	26
5.5.3.2	<i>Extravasamento de eletrólitos</i>	26
5.6	Análise Estatística	26
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	
6.1	Parâmetros de crescimento do algodão	27
6.2	Parâmetros fisiológicos e bioquímicos	28
6.2.1	<i>Trocas gasosas</i>	28
6.2.2	<i>Pigmentos fotossintéticos</i>	31
6.2.3	<i>Extravasamento de Eletrólitos</i>	33
6.3	Teores de sódio e potássio	34

7	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.), pertencente à família Malváceas, é originário do México e da América Central (Carvalho, 2000). Levantamentos históricos indicam que o algodão já era cultivado por populações antigas do Vale do Rio Nilo, no Egito, e no Peru (Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA, 2007). Com sua domesticação pelo homem, o algodão tornou-se uma das principais culturas cultivadas em todo o mundo, sendo sua fibra o principal produto comercializado, utilizada pela indústria têxtil, bem como na alimentação humana e animal (Paim, 2010).

O algodoeiro é uma planta cultivada em diversos países, como China, Paquistão, Estados Unidos. O plantio da cultura no Brasil vem sendo impulsionada, em grande parte pelos avanços tecnológicos no campo (Beltrão, 2008). Mesmo na região Nordeste país que já teve sua produção reduzida drasticamente por fatores abióticos e bióticos, vem apresentando aumento na área de cultivo (Melo, 2019).

Um dos principais desafios no cultivo em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, é a salinidade, resultante altas taxas de evaporação, drenagem inadequada, oscilações do lençol freático, processos de intemperismo e uso excessivo de fertilizantes (Gheyi, 2016). Além disso, essas regiões apresentam restrição hídrica, sendo a irrigação com água de elevada condutividade elétrica uma alternativa necessária para viabilizar a produção (Ayers; Westcot, 1999; Gheyi, 2016).

A salinidade é um dos principais fatores limitantes ao crescimento e desenvolvimento das plantas devido ao componente osmótico e iônico (Munns; Tester, 2008; Taiz, 2017). A limitação na absorção de água causada pela perda de turgescência, redução do crescimento e da produção, resultando em plantas atrofiadas e desidratadas (Ashraf & Harris, 2004). Além disso, provoca desequilíbrio nutricional devido à redução de íons essenciais, como Ca^{2+} , K^+ e NO_3^- , e o componente iônico causa toxicidade nas células vegetais devido ao acúmulo de Na^+ e Cl^- (Tavakkoli, 2012).

Diante desse cenário, a busca por estratégias capazes de atenuar os efeitos do estresse salino tem sido associada à adoção tecnologias sustentáveis. Nesse contexto, destaca-se o aproveitamento de resíduos agroindustriais, como a casca de coco verde (*Cocos nucifera* L.), material abundante no estado do Ceará é um dos principais produtores de coco do país (Nunes, 2018). A produção de biocarvão a partir dessa matéria-prima pode aumentar a retenção de água no solo, a disponibilidade de nutrientes e a capacidade de troca catiônica (CTC), atuando como condicionador de solo (Silva, 2025).

Outra estratégia de mitigação consiste na utilização de bioestimulantes, que têm o potencial de melhorar a eficiência dos cultivos agrícolas e aumentar a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, incluindo a salinidade (Yakhin, 2017). Estes produtos não atuam como fertilizantes convencionais nem defensivos agrícolas, mas como um otimizador do metabolismo vegetal atuando por meio da regulação hormonal, ativação enzimática, sinalização celular e ajustes fisiológicos, principalmente em condições adversas como o estresse salino, déficit hídrico e temperaturas extremas (Calvo; Nelson; Kloepper, 2014).

Diante da necessidade de atenuar os efeitos nocivos da salinidade nas plantas, torna-se fundamental avaliar a adoção de diferentes estratégias de mitigação, como o uso de biocarvão e bioestimulantes, bem como o comportamento dessas estratégias na redução do estresse salino no algodão.

2 HIPÓTESE

A adoção de diferentes estratégias de mitigação, como o biocarvão e os bioestimulantes, isoladamente ou em combinação, atenuam os efeitos danosos do estresse salino sobre parâmetros morfofisiológicos e bioquímicos.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar o efeito do biocarvão e dos bioestimulantes, isoladamente e em combinação, sobre o crescimento, os processos bioquímicos e fisiológicos, bem como a presença de sinergismo entre eles no desenvolvimento das plantas de algodão, submetidas ou não ao estresse salino.

3.2 Específicos

- Avaliar os parâmetros de crescimento em plantas de algodão nas condutividades de 0,2 e 4,5 dS m⁻¹ em resposta ao uso isolado e combinado do biocarvão, do bioestimulante, e do uso combinado;
- Avaliar as respostas fisiológicas por meio dos resultados de trocas gasosas no algodoeiro com as diferentes estratégias de mitigação;
- Analisar o acúmulo dos íons de Na⁺ e K⁺ no tecido foliar e na raiz e a relação Na⁺/K⁺;
- Determinar se o uso do biocarvão e do bioestimulante são recomendados na mitigação do estresse salino em plantas de algodão.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Aspectos gerais do algodão

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.), também conhecido como “ouro branco”, pertence à família Malvaceae e ao gênero *Gossypium* (Islam *et al.*, 2024). Trata-se de uma espécie de hábito de crescimento indeterminado, o que permite que, ao longo do ciclo, sejam observados simultaneamente capulhos maduros e novos ramos vegetativos em desenvolvimento (Lee *et al.*, 1984). Em condições comerciais, uma planta madura e de alto potencial produtivo pode apresentar cerca de 25 nós no caule principal, dos quais aproximadamente 18 originam ramos frutíferos (Silva *et al.*, 2011). Por essa razão, é frequente o uso de reguladores de crescimento na cultura (Trevisan *et al.*, 2018).

O ciclo vegetativo do algodoeiro pode ser descrito em quatro fases: semeadura à emergência; emergência ao aparecimento do primeiro botão floral; aparecimento do primeiro botão floral ao surgimento da primeira flor; e da primeira flor ao primeiro capulho (Silva *et al.*, 2011). Durante o desenvolvimento, os órgãos vegetativos competem com os reprodutivos pelos fotoassimilados. Morfologicamente, o algodoeiro apresenta dois tipos de ramificações: monopodiais e simpodiais (GRID-PAPP, 1965).

Na fase de aparecimento do primeiro botão floral, verifica-se intenso crescimento em altura e acúmulo de matéria seca, marcado pelo aumento expressivo do número de folhas e pela formação inicial das estruturas reprodutivas (BAKER e LANDIVAR, 1991). Entre o surgimento da primeira flor e o primeiro capulho, o principal processo fisiológico é a fixação do maior número possível de maçãs, muitas das quais já se encontram em fase de maturação. Nessa etapa, observa-se redução do crescimento vegetativo e da emissão de novos botões florais, o que pode resultar na queda de estruturas reprodutivas ainda jovens, especialmente em condições ambientais favoráveis ao crescimento (ORGAZ *et al.*, 1991).

No intervalo entre o primeiro capulho e a colheita, é comum a utilização de desfolhantes ou maturadores, destinados a melhorar a qualidade da fibra, reduzindo umidade, amarelecimento e impurezas. A aplicação desses produtos deve ocorrer quando 70% a 80% dos capulhos estiverem abertos, pois tratamentos antecipados podem comprometer o comprimento e a resistência da fibra (SNIPES, 1994).

A elevada importância da qualidade da fibra se justifica pelo fato de que o algodão é amplamente cultivado para sua produção, sendo a cultura não alimentícia mais lucrativa do mundo (Ashraf *et al.*, 2024). Além disso, suas sementes, ricas em proteínas, são utilizadas tanto

na extração de óleo quanto na produção de torta destinada à alimentação animal (Tao *et al.*, 2024). A nível mundial, China, Índia e Estados Unidos são os maiores produtores de algodão, sendo a China a líder global, com produção anual de aproximadamente 6 milhões de toneladas, o que representa cerca de 24% da produção mundial (Khan *et al.*, 2020; FAOSTAT, 2023).

No Brasil, segundo dados do Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2025/2026, fornecidos pela CONAB, a área de plantio de algodão está projetada para ocupar cerca de 2,14 milhões de hectares, representando um aumento de 2,4% em relação à safra 2024/2025. Esse crescimento reflete a expansão contínua da cultura, impulsionada pela demanda interna e externa, além da adoção de tecnologias que potencializam o rendimento das lavouras. Espera-se que o incremento nas exportações consolide o Brasil como o maior exportador mundial, superando os Estados Unidos, que projetam exportar 2,6 milhões de toneladas, conforme dados do USDA de setembro de 2025.

Diante desses números, destacam-se as regiões Centro-Oeste e Nordeste como as principais produtoras de algodão no Brasil (CONAB, 2025). Os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul respondem por mais de 90% da área plantada (Santos *et al.*, 2020). Entre os fatores que contribuem para a elevada produtividade nessa região, destacam-se o emprego de tecnologias avançadas, a adoção de sistemas de produção em sequeiro e a topografia favorável, adequada à mecanização de todas as operações agrícolas (Hoffmann *et al.*, 2020). No Nordeste, apesar das temperaturas favoráveis ao cultivo, os longos períodos de escassez hídrica tornam a irrigação uma prática necessária (Zonta *et al.*, 2015). Além disso, o clima semiárido, predominante em grande parte da região, está associado à presença de solos salinos, o que compromete o desenvolvimento das culturas (Liu *et al.*, 2025).

O algodão é classificado como uma cultura moderadamente tolerante ao sal, apresentando um nível limiar de salinidade de 7,7 dS m⁻¹ (Zhang *et al.*, 2013). Apesar de sua tolerância relativa, a salinidade pode provocar reduções substanciais no crescimento do algodoeiro, por meio da perturbação da homeostase osmótica e iônica (Sharif *et al.*, 2019). Consequentemente, o metabolismo celular é prejudicado, comprometendo o desenvolvimento e o crescimento da planta (Muhammad *et al.*, 2025).

4.2 Salinidade e seus efeitos nas plantas

As culturas agrícolas estão constantemente expostas a fatores que influenciam a produção de alimentos, sejam eles de origem biótica, relacionados a organismos vivos, ou abiótica, inerentes às alterações do ambiente (Du *et al.*, 2024). Dentre os fatores ambientais, a

salinidade destaca-se como um dos estresses mais prejudiciais (Sahito *et al.*, 2024). O processo de salinização dos solos tem avançado progressivamente, comprometendo o crescimento das plantas e resultando em perdas significativas de produção (Yadav *et al.*, 2020).

A salinização do solo ocorre, principalmente, em regiões áridas e semiáridas, sendo mais frequente em áreas de baixa altitude, onde há maior deposição de sais solúveis (Saddiqe *et al.*, 2016). Esse processo é intensificado por condições como irrigação inadequada, elevada evaporação superficial, intemperismo das rochas locais, baixa pluviosidade e práticas agrícolas inadequadas, fatores que favorecem o acúmulo progressivo de sais no solo (Metternicht & Zinck, 2003; Liliane & Charles, 2020; Truşcă *et al.*, 2023).

A salinidade pode ser classificada em dois tipos: primária e secundária. A salinidade primária é resultante de processos naturais de origem geológica, hidrológica e pedológica, que promovem o acúmulo natural de sais ao longo do tempo. Já a salinidade secundária decorre de atividades antrópicas, especialmente relacionadas ao manejo inadequado da irrigação, da drenagem e do uso incorreto de fertilizantes. Em função dessas condições, estima-se que as áreas afetadas pela salinização estejam aumentando a uma taxa aproximada de 10% ao ano (Dehaan & Taylor, 2002; Hnilickova *et al.*, 2021).

Atualmente, estima-se que mais de 32 milhões de hectares de terras agrícolas e mais de 800 milhões de hectares de outras áreas estejam salinizados em escala global. Além disso, as áreas agrícolas irrigadas apresentam elevada vulnerabilidade à salinização, cuja intensificação é prevista ao longo do tempo, podendo comprometer até 50% das terras irrigadas até o ano de 2050 (Singh, 2022).

A acumulação de íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) no solo provoca desequilíbrio na homeostase celular, prejudicando a hidratação das células e inibindo a absorção de água (Tariq *et al.*, 2025). Além disso, o componente iônico do estresse salino interfere em funções metabólicas essenciais, como o metabolismo de proteínas e de ácidos nucleicos, comprometendo o desenvolvimento das plantas em diferentes estádios, metabolismo e mutações nos ácidos nucleicos. Como mecanismo de resposta, as plantas dispõem de um complexo sistema antioxidante, constituído por enzimas e antioxidantes não enzimáticos (Singh *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2026).

O sistema antioxidante enzimático é constituído por enzimas como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidases (POD) ascorbato peroxidase (APX), que visa a proteção durante o processo de eliminação das EROs (Shahid *et al.*, 2020). O sistema antioxidante não enzimático consiste em ácido ascórbico, carotenoides, que são pigmentos fotoprotetores, responsáveis pela dissipação da energia luminosa e neutralização das espécies

reativas de oxigênio (EROS), glutathiona e prolina, que são moléculas fundamentais na manutenção do equilíbrio redox (Cannea & Padiglia, 2025).

Diante do impacto negativo do estresse salino sobre o metabolismo das plantas e da crescente demanda global por alimentos, tornam-se imprescindíveis esforços voltados ao desenvolvimento de genótipos tolerantes à salinidade. No entanto, embora as abordagens genéticas tenham apresentado avanços significativos, plantas transgênicas podem perder, ao longo do tempo, os genes funcionais responsáveis pela tolerância aos sais (Metwally & Soliman, 2023).

Dessa forma, faz-se necessária a implementação de novas estratégias capazes de sustentar e ampliar a produção agrícola, a fim de enfrentar os desafios globais impostos pela salinidade, bem como a implementação de práticas agrícolas inovadoras, rápidas e ambientalmente sustentáveis.

4.3 Biocarvão e bioestimulantes como atenuadores do estresse salino

O biocarvão ou biochar é o material sólido que é obtido por meio da conversão termoquímica (pirólise) da biomassa em um ambiente com limitação de oxigênio, formando assim esse sólido rico em carbono (70 -80%) e com uma ampla área superficial, lhe conferindo porosidade e capacidade adsorptiva, servindo como agente condicionador do solo, fornecedor de nutrientes e ajudando na retenção de água no solo (Lehmann; Joseph, 2015; Marafon, 2020).

A utilização da casca de coco-verde para a produção do *biochar* é outro fator positivo, devido ao descarte incorreto, abundância do resíduo e longo período de degradação no solo, além de suas boas propriedades físico-químicas para ser utilizado como matéria-prima do biochar (Carrijo; Liz; Nozomu, 2002). O biochar também se mostra como uma boa alternativa no enfrentamento de estresses abióticos, segundo Costa (2019), auxiliando na redução da condutividade elétrica (CE) em solos salinos e aumentando o pH do solo de forma proporcional a dose do produto utilizada. Contêm fitormônios, aminoácidos, polissacarídeos e outros compostos bioativos que aumentam a tolerância a estresses e estimulam o crescimento vegetal (Craigie, 2011).

Além do biocarvão, os bioestimulantes também podem ser utilizados como atenuadores de estresse. Segundo a definição proposta por Du Jardin (2015) bioestimulante é qualquer substância ou microrganismo aplicado às plantas com o objetivo de aumentar a eficiência nutricional, tolerância ao estresse abiótico e/ou características de qualidade da cultura, independentemente do seu teor de nutrientes. Os bioestimulantes, atualmente, tem a

sua classificação baseada na origem da sua matéria-prima, sendo classificados nos grupos: substâncias húmicas, extrato de algas marinhas, proteínas hidrolisadas e produtos contendo aminoácidos e microorganismos (Bulgari *et al.*, 2019).

Os aminoácidos são cruciais no metabolismo vegetal, incluindo crescimento, desenvolvimento, nutrição, sinalização e resposta ao estresse abiótico, como o salino, que interfere em sua biossíntese, comprometendo a síntese proteica e atividade enzimática (Raza *et al.*, 2026). A acumulação de aminoácidos, como a prolina e a arginina, atuam na manutenção da homeostase celular, e seu acúmulo propicia um reservatório metabólico e mecanismo de sinalização de resposta ao estresse (Heinemann & Hildebrandt, 2021).

Diante disso, a adoção do biocarvão à base da casca de coco verde e de bioestimulantes, como tecnologias inovadoras e sustentáveis, pode atenuar os efeitos deletérios no crescimento, processos bioquímicos e fisiológicos na cultura do algodão.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido no período de fevereiro a maio de 2025, em casa de vegetação (Figura 1), localizada no setor de Agricultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no Campus Pici (3°43'02'' S; 38°32'35'' W), na cidade de Fortaleza, Ceará. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025), a condução do experimento correspondeu ao período de quadra chuvosa, com temperaturas médias mínimas de 26°C e máximas de 30°C.

Figura 1 – Casa de vegetação / Localização do Experimento.



Fonte: Carlos Thomaz (2025)

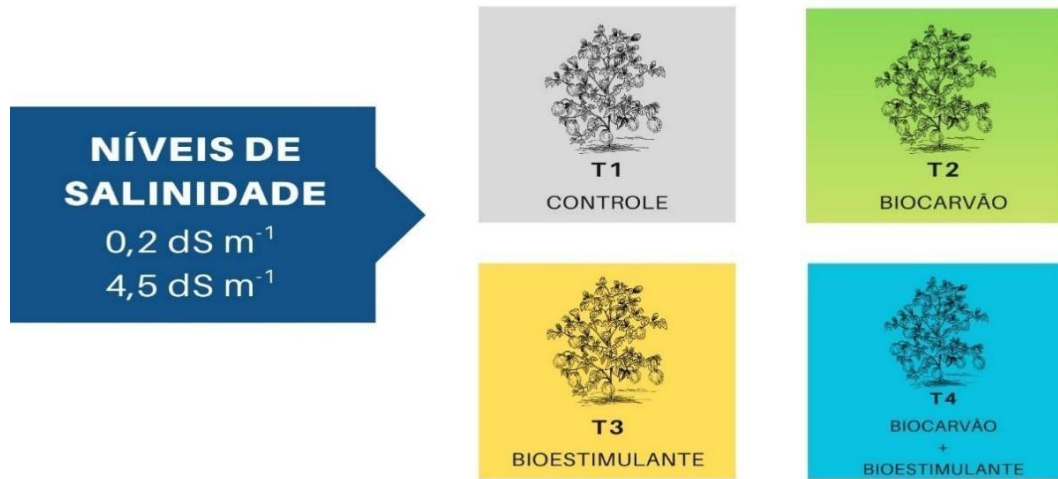
5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento utilizado no experimento foi o inteiramente casualizado (DIC) em um esquema fatorial $4 \times 2 \times 5$, com o primeiro fator correspondendo aos tratamentos de mitigação (T1: controle; T2: biocarvão; T3: bioestimulante; T4: biocarvão+ bioestimulante), e o segundo fator ao nível de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa: 0,2 e 4,5 dS m^{-1}) com 5 repetições para cada tratamento, totalizando-se 40 unidades experimentais. (Figura 2).

A água de irrigação de CEa 0,2 dS m^{-1} , foi fornecida pelo sistema de abastecimento da Companhia de Abastecimento do Ceará (CAGECE). A água de irrigação com 4,5 dS m^{-1} foi obtida pela preparação da solução salina utilizando os sais NaCl, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, mantendo-se a proporção de 7:2:1, respectivamente, referente aos estudos de Medeiros (1992)

sobre as principais fontes de águas do nordeste do Brasil.

Figura 2 – Tratamentos do experimento



Fonte: Autora (2025)

5.3 Caracterização do biocarvão e do bioestimulante

A matéria-prima utilizada para a obtenção do biocarvão foi a casca de coco verde, submetida ao processo de pirólise em forno caseiro, com taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ e uma temperatura final de carbonização entre 400°C e 500°C . Em seguida, o material foi triturado e peneirado em malha de 0,5 mm para redução das partículas e melhor incorporação ao solo. Uma amostra do composto final foi enviada para análise ao Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetal (LABSAT) localizado no IFCE no campus de Limoeiro do Norte, Ceará, para determinação dos componentes químicos presentes no material. (Tabela 1)

Tabela 1 – Composição do biocarvão

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO BIOCÁRVÃO											
Macronutrientes (%)						Micronutrientes (mg kg^{-1})					(mg kg^{-1})
N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B	Na
1,22	0,53	4,97	1,58	0,77	0,38	1940	717	17	51	71	5679
%											
Umidade		C		M.O.		C/N		pH			
3,35		41,91		75,44		34		8,9			

N – Nitrogênio; P – Fósforo; K – Potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; S – Enxofre; Fe – Ferro; Zn – Zinco; Cu – Cobre; Mn – Manganês; B – Boro; Na – Sódio; C – Carbono; M.O. – Matéria Orgânica; C/N – Carbono/Nitrogênio; pH – Potencial hidrogeniônico.

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecido Vegetal (LABSAT), IFCE – Limoeiro do Norte

O bioestimulante utilizado foi o Naturamin[®] - WSP, da Daymsa, um produto de formulação em pó, composto por cerca de 80% de aminoácidos de cadeia curta, em suas respectivas proporções: 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%. O referido bioestimulante é recomendado para estádios em que a cultura requer um maior consumo de energia e em momentos em que está submetida a condições desfavoráveis, como é o caso do estresse por salinidade, isso se dá por em sua composição apresentar alta concentração de aminoácidos com atividade específica.

5.4 Condução do experimento

O experimento foi conduzido em vasos com volume de 11 L, os quais continham 14 kg do solo. A adição do biocarvão foi realizada com 60 dias de antecedência da montagem dos vasos e homogeneizada deixando assim um período de incubação para potencializar o efeito condicionador de solo do composto. A dose adicionada foi calculada mediante análise de solo e seguindo a recomendação de adubação do potássio em fundação, descrita por Carvalho (2011) para a cultura do algodão. A cultivar utilizada para o experimento foi a FiberMax 985GLTP, da Basf[®], sendo a semeadura realizada em fevereiro. A semeadura foi realizada em torno de 3 cm de profundidade, onde foram adicionadas cinco sementes por vaso, porém foram deixadas apenas duas plântulas por vaso, com o desbaste sendo realizado com 10 DAS. Durante a semeadura foi realizada a adubação de fundação com 0,32 g/vaso de ureia, 1,67 g/vaso de superfosfato simples e 0,42 g/vaso de cloreto de potássio, seguindo a recomendação de Carvalho (2011). A primeira adubação de cobertura ocorreu aos 14 dias após a emergência (DAE) e a segunda aos 37 DAE, e foram adicionados 0,85 g/vaso de ureia, 1,13 g/vaso de superfosfato simples e 1,10 g/vaso de cloreto de potássio.

Aos 20 dias após semeadura (DAS) os tratamentos com CEa de 4,5 dS m⁻¹ foram aclimatados por 3 dias com CEa de 2,0 dS m⁻¹, e, após esse período, a irrigação permaneceu em 4,5 dS m⁻¹ ao longo do experimento. Para evitar o acúmulo de sais, foi empregado a fórmula desenvolvida por Ayers e Westcot (1999) para determinação da fração de lixiviação de 0,15 acima da demanda da cultura.

$$VI = \frac{(Va+Vd)}{1-FL}$$

Onde: VI = Volume a ser irrigado (ml); Va e Vd = Volume de água aplicado na irrigação e volume de água drenado aferido pelo lisímetro, respectivamente e FL = Fração de lixiviação adotada.

A aplicação do bioestimulante ocorreu aos 31 e 45 DAS, períodos que antecedem ao aparecimento de capulhos e durante a floração, seguindo a dose indicada para a cultura do algodão. O bioestimulante foi dissolvido em água destilada e pulverizado nas folhas com pulverizador de alta pressão com volume de 2L. O tratamento controle foi pulverizado com água destilada para isolar o efeito do produto e padronizar o manejo. A coleta para as análises bioquímica e fisiológica de extravasamento de eletrólitos e pigmentos fotossintéticos, respectivamente (2ª folha) foi realizada aos 97 DAS. O material coletado foi inserido rapidamente em nitrogênio líquido e, posteriormente, armazenado a -80°C.

5.5 Variáveis analisadas

5.5.1 Variáveis biométricas

As análises biométricas não destrutivas, altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF), foram realizadas aos 33, 47 e 86 DAS, correspondendo, respectivamente, aos estádios fenológicos do algodoeiro: aparecimento dos botões florais, florescimento pleno e abertura de capulho. A época utilizada para a obtenção dos resultados foi a época de floração. A altura e a área foliar foram aferidas com o auxílio de uma régua graduada e trena, o diâmetro do caule foi realizado com a utilização de paquímetro automático e o número de folhas foi feita a contagem. Os resultados da área foliar foram obtidos por meio da multiplicação do comprimento (C), largura (L) e um fator de forma (f), de acordo com Monteiro (2005), resultando na seguinte equação:

$$AF = (C) \times (L) \times 0,75$$

Em que: C= comprimento (cm); L= largura; 0,75= fator de correção.

5.5.2 Variáveis fisiológicas

5.5.2.1 Trocas gasosas

As análises de trocas gasosas foram realizadas aos 33, 47 e 86 DAS, no período, períodos que correspondem aos estádios fenológicos no algodoeiro de aparecimento dos botões florais, florescimento pleno e abertura dos capulhos, respectivamente, de 8:00 às 11:00 horas, na terceira folha totalmente expandida do ápice para a base. Para as leituras foi utilizado o analisador de gases no infravermelho (IRGA, modelo LI-6400XT, Li-COR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA), sob radiação fotossinteticamente ativa ($1400 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração constante de CO_2 (400ppm).

Foram determinadas a taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E). Com dos dados da fotossíntese líquida (A) e da transpiração (E) foi calculado a eficiência instantânea do uso da água ($\text{EUA} = A/E$).

5.5.2.2 Pigmentos fotossintéticos

A metodologia utilizada para quantificação dos pigmentos fotossintéticos foi a de Wellburn (1994), onde foram coletadas a segunda folha de cada tratamento, do ápice para a base, estando elas totalmente expandidas e usando um cortador de discos foram retirados 3 discos foliares de cada folha de algodão (aproximadamente 0,05g) e colocados em frascos de vidro revestidos com papel alumínio contendo 2 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com CaCO_3 , solução utilizada para a extração dos pigmentos.

Os frascos com os discos foram mantidos no escuro por 48h. Em seguida os frascos foram colocados em banho-maria a 65°C durante 30 minutos, após esse procedimento foram retiradas alíquotas na solução contida nos frascos e colocadas em placas para a leitura no espectrofotômetro nos seguintes comprimentos de onda: 665, 649 e 480 nm.

Após as leituras, os discos foram lavados em água destilada para retirar o excesso da solução dispostos para secagem em estufa a 60°C por 48 h, onde foram utilizados para determinação de massa seca (mg). Os conteúdos de clorofila a, clorofila b e total e de carotenoides foram estimados utilizando as seguintes equações:

$$Ca = (12,47 \times A_{665}) - (3,62 \times A_{649});$$

$$Cb = (25,06 \times A_{649}) - (6,5 \times A_{655});$$

$$C_{\text{total}} = (7,15 \times A_{665}) + (18,71 \times A_{649});$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{1000 \times A_{480} - 1,29 \times Ca - 53,78 \times Cb}{1000}$$

Em que “A” representa a absorvância no respectivo comprimento de onda indicado na equação e sendo os valores obtidos expressos em mg g^{-1} de matéria seca (MS).

5.5.3 Variáveis bioquímicas

5.5.3.1 Determinação de íons inorgânicos

A determinação do sódio (Na^+) e potássio (K^+) nas raízes e nas folhas, foi realizada a partir da maceração das amostras liofilizadas. Foram pesados 10 mg de material e colocados 1 mL de água destilada em eppendorf. Posteriormente, foram mantidos a uma temperatura de 75°C por um período de 1h, com agitações a cada 10 minutos. Após o procedimento os eppendorf. com o conteúdo homogeneizado foram dispostos em centrífuga a $3.000 \times \text{g}$ por 15 minutos, em temperatura ambiente, feito isso foram coletados os sobrenadantes e armazenados a 20°C e descartados os precipitados. A quantificação dos teores dos elementos supracitados foi realizada com o auxílio do fotômetro de chama, utilizando-se da metodologia de Malavolta (1989), com os extratos diluídos, onde foi possível também calcular a razão Na^+/K^+ , sendo estes valores expressos em mg g^{-1} MS.

5.5.3.2 Extravasamento de eletrólitos

Para a determinação do extravasamento de eletrólitos foi adotada a metodologia de Singh (2007). Foram retirados cerca de 10 discos foliares da segunda folha totalmente expandida do algodão do ápice para a base (aproximadamente 100 mg) e colocados em tubos de ensaio com água deionizada e mantidos em repouso à temperatura ambiente por 2 horas. Em seguida, com um condutímetro de bancada foi realizado a leitura da condutividade elétrica (CE1). Após a leitura, os tubos com as amostras foram aquecidos em banho-maria a 95°C por 30 minutos após retorno a temperatura ambiente foi aferida novamente a condutividade elétrica final (CE 2). Com as duas condutividades elétricas foi possível determinar o extravasamento dos eletrólitos (EE) pela equação:

$$\text{EE (\%)} = \frac{\text{CE1}}{\text{CE2}} \times 100$$

5.6 Análise estatística

Para análise dos dados biométricos, fisiológicos e bioquímicos as variáveis foram submetidas a análises de variância, sendo avaliadas as significâncias dos tratamentos pelo teste F ($p \leq 0,05$) e quando significativas foram comparadas pelo teste de Tukey. Para realizar a análise estatística foi utilizado o software R. v.4.0.2 (R Core Team, 2020) e o SISVAR (versão 5.8). Para representação dos gráficos e tabelas foi utilizado o Sigmaplot (versão 11.0) e Excel (versão 2408).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Variáveis biométricas

Os resultados obtidos pela análise de variância apresentados na Tabela 1 mostraram que os dados de altura (ALT) e área foliar (AF) não apresentaram resultados significativos ($p \geq 0,05$). No número de folhas (NF) houve interação significativa entre os fatores ($p \leq 0,05$). No diâmetro do caule (DC) houve resultado significativo no fator salinidade ($p \leq 0,05$).

Tabela 2 – Valor de F dos parâmetros de altura (ALT), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF), Bioinsumos (B) e salinidade (S).

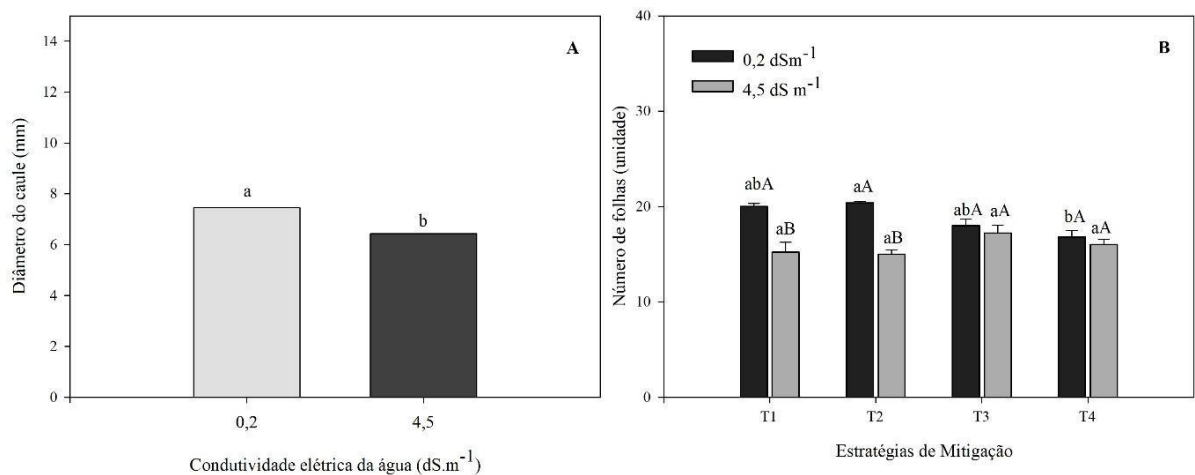
Variáveis	GL	ALT	AF	DC	NF
Bioinsumos (B)	3	2,13 ns	2,26 ns	1,01ns	0,91 ns
Salinidade (S)	1	0,29 ns	0,36 ns	5,89**	20,8 ns
Interação B×S	3	0,15 ns	0,21 ns	0,5 2ns	3,72 **
Resíduo	32	–	–	–	–
CV (%)		7,64	12,68	10,08	11,79

* = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; ns= não significativo; CV = Coeficiente de variação.

Fonte: Autora (2025).

Em condições de salinidade as plantas de algodão apresentaram diâmetro do caule (Figura 3A) 13,69% inferior ao de plantas controle ($0,2 \text{ dS m}^{-1}$). Em relação ao número de folhas (Figura 3B), o tratamento com biocarvão (T2) foi mais eficiente em condições sem salinidade apresentando valor 20,0% superior ao menor resultado observado no tratamento combinado de biocarvão e bioestimulante (T4). Em condições salinas, evidenciou-se que o tratamento com bioestimulante (T3) obteve melhor resposta, sendo 14,2% superior ao biocarvão e 8,57% ao uso combinado dos tratamentos, em números absolutos, pois estatisticamente não diferenciaram entre si.

Figura 3 – Diâmetro do caule (A) em função da condutividade elétrica da água de $0,2$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$; número de folhas (B) em plantas de algodão nos tratamentos: controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e combinação de biocarvão + bioestimulante (T4).



T1 – Controle; T2 – Com biocarvão ; T3 – Com bioestimulante; T4 – Combinação dos bioinsumos. Médias seguidas de Mesma letra minúscula (tipos de insumos) e maiúscula (condutividade elétrica), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Fonte: Autora (2025)

Um dos efeitos do estresse salino é a limitação de absorção de água pelas plantas, em consequência disso, a restrição hídrica interfere em processos fundamentais para o desenvolvimento vegetal, como o alongamento e a divisão celular (Wang, 2022), no entanto a cultivar possui rusticidade, o que leva a uma maior resistência à salinidade, não alterando significativamente estatisticamente, no entanto o resultado absoluto obtido corrobora o observado por Silva *et al.* (2025), trabalhando com a cultura da pimenta e a aplicação de bioestimulante e água salina.

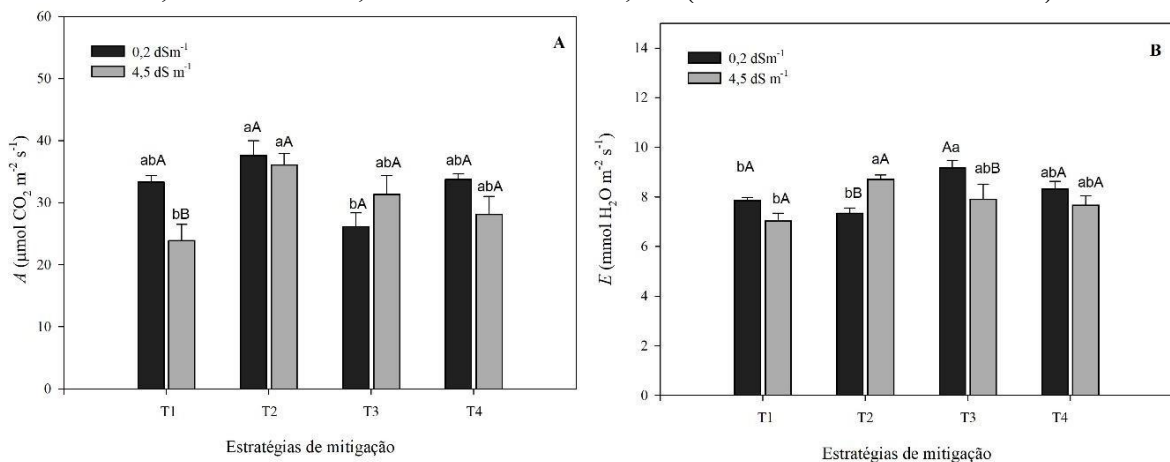
6.2 Parâmetros fisiológicos e bioquímicos

6.2.1 Trocas gasosas

O estresse salino afetou significativamente na fotossíntese e transpiração. As plantas sob estresse salino ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) apresentaram resultado 9,48% inferior de fotossíntese líquida (A) em comparação a condição não estressantes ($0,2 \text{ dS m}^{-1}$). A transpiração também foi inferior 5,78% em condições salinas. A condutância estomática não apresentou diferença significativa entre as médias. A eficiência no uso da água (EUA) também apresentou resultado semelhantes ao da fotossíntese líquida (A) e da transpiração (E), sendo superior com biocarvão em $0,2$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$.

A fotossíntese líquida (Figura 4A) no tratamento com biocarvão apresentou as maiores médias em ambas as condições de condutividade elétrica com valores de $37,6$ e $36,1$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) sob $0,2$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Em relação à transpiração (Figura 4B), o bioestimulante apresentou média superior aos demais tratamentos $9,17$ ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) em condições de controle, enquanto que, sob estresse salino o melhor resultado foi obtido no tratamento com biocarvão ($8,71 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Figura 4 - Fotossíntese líquida (A) (A) e transpiração (B) em folhas de algodão nos tratamentos T1=controle; T2=biocarvão; T3= bioestimulante; T4 (biocarvão + bioestimulante)



T1 – Controle; T2 – Com biocarvão; T3 – Com bioestimulante; T4 – Combinação dos bioinsumos.

Médias seguidas de mesma letra minúscula (tipos de insumos) e maiúscula (condutividade elétrica), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

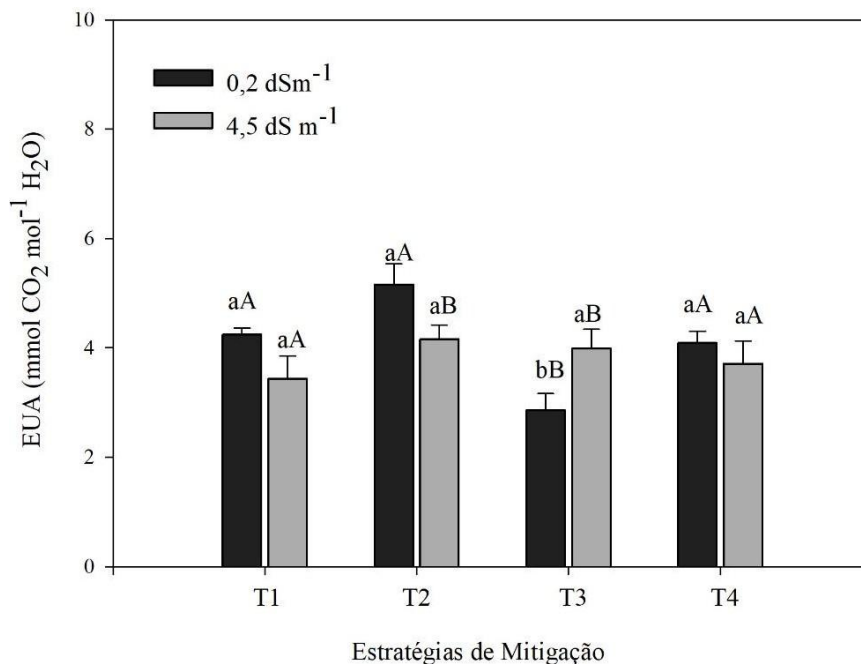
Fonte: Autora (2025)

A exposição ao estresse salino afeta a fotossíntese e a transpiração em função de fatores estomáticos, como o fechamento dos estômatos, e de fatores não estomáticos, como a

inibição das enzimas do ciclo de Calvin (Liu *et al.*, 2024). Os valores elevados dessas variáveis no tratamento com biocarvão possivelmente estão associados às suas características físicas e químicas, como a elevada porosidade, que favorece a retenção de água no solo e a adsorção de íons de Na^+ e Cl^- (Lima *et al.*, 2025).

Em relação à eficiência no uso da água (Figura 5), o tratamento com biocarvão (T2) apresentou desempenho superior em comparação aos demais tratamentos. Sob condutividade elétrica de $0,2 \text{ dS m}^{-1}$, o biocarvão apresentou valores 44,9% e 20,7% superiores aos observados nos tratamentos com bioestimulante (T3) e com uso combinado (T4), respectivamente em valores absolutos. Resultados positivos também foram observados sob condições salinas, nas quais a eficiência no uso da água foi 4,1% e 12,1% superior aos tratamentos T3 e T4, respectivamente, porém não houve diferença estatisticamente.

Figura 5 – Eficiência no uso da água (EUA) em função da salinidade ($0,2$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$) e em função dos tratamentos: Controle (T1), Biocarvão (T2), Bioestimulante (T3) e Combinação do biocarvão e bioestimulante (T4).



T1 – Controle; T2 – Com biocarvão; T3 – Com bioestimulante; T4 – Combinação dos bioinsumos. Médias seguidas de mesma letra minúscula (tipos de insumos) e maiúscula (condutividade elétrica), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Fonte: Autora (2025)

A eficiência no uso da água é comumente considerada um fator crucial que afeta a produtividade das culturas sob estresse e um componente da resistência aos estresses abióticos, pois permite a manutenção da assimilação de carbono com menor perda de água (Alharbi *et al.*, 2024), o que foi observado nos tratamentos com biocarvão.

6.2.2 Pigmentos fotossintéticos

Os pigmentos fotossintéticos foram superiores em condições de salinidade (Tabela 3). As estratégias de mitigação apresentaram interação significativa ($p \leq 0,05$). A interação significativa ($p \leq 0,05$) entre os fatores mostrou que o tratamento com bioestimulante foi o que apresentou melhor resultado.

Tabela 3 – Médias entre os tratamentos para os pigmentos fotossintéticos Clorofila a (Cl a), Clorofila b (Cl b), Clorofila total (Cl t) e Carotenoides (Crt) em função da salinidade, em um nível de significância $p \leq 0,05$ em teste de Tukey.

Variáveis	Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	
	0,2 dS m ⁻¹	4,5 dS m ⁻¹
Cl a (mg g ⁻¹)	1,58 ± 0,15 b	4,10 ± 1,60 a
Cl b (mg g ⁻¹)	0,8 ± 0,06 b	1,7 ± 0,61 a
Cl total (mg g ⁻¹)	2,37 ± 0,21 b	5,79 ± 2,22 a
Crt (mg g ⁻¹)	0,95 ± 0,08 b	2,1 ± 0,78 a

Fonte: Autora (2025)

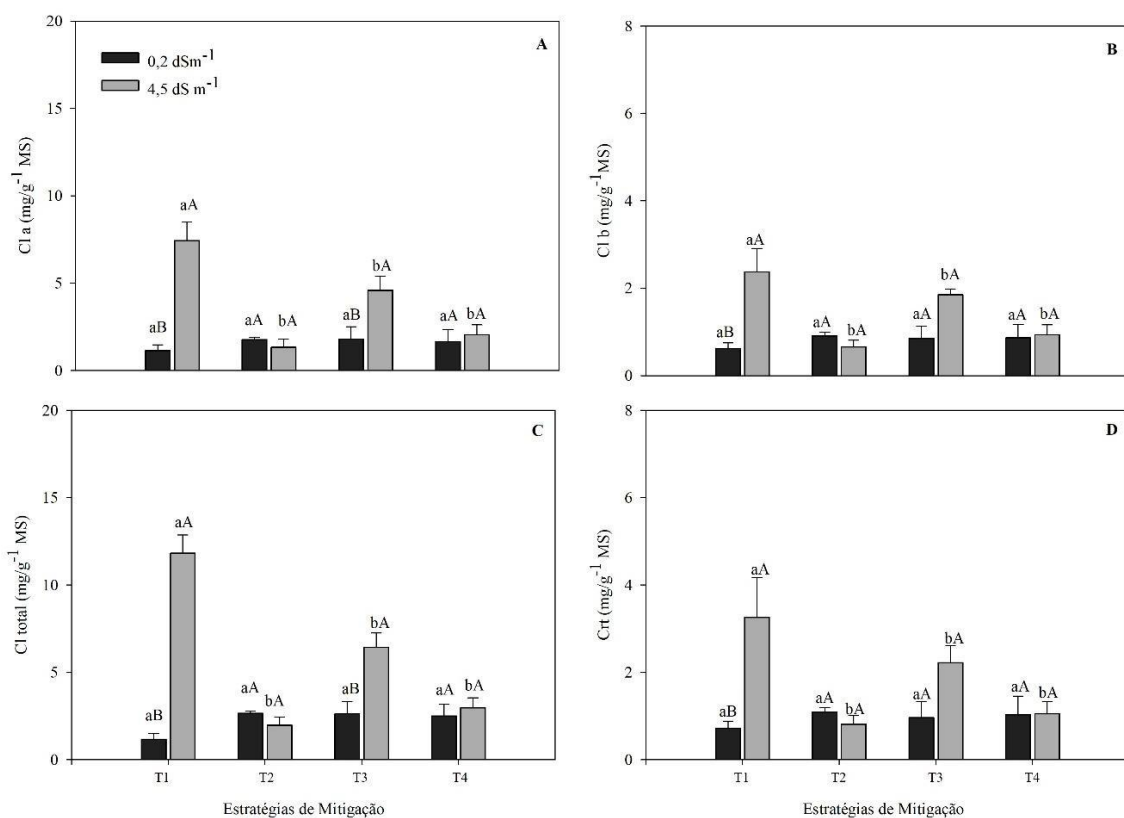
As médias obtidas no T3 foram superiores aos demais tratamentos em condições de salinidade (4,5 dS m⁻¹). Em T3 os valores de Cl a (Figura 6A) foram maiores 71% e 55,6% do que nos tratamentos com biocarvão (T2) e na combinação de biocarvão + bioestimulante (T4), respectivamente. E em condições de baixa salinidade (0,2 dS m⁻¹) tivemos que o bioestimulante (T3) também apresentou vantagens de 1,68% e 7,82% em relação ao T2 e T4.

Para a variável de Cl b, tivemos que o valor mais expressivo positivamente em condições sem estresse foi o tratamento com biocarvão (T2), com uma média de 0,90 mg g⁻¹, sendo um valor 32,22% maior que o controle (0,61 mg g⁻¹), no qual foi o menor valor, estando os tratamentos com bioestimulante (T3) e estratégias combinadas (T4) acima do controle em 28% e 28,7%, respectivamente (Figura 6 B).

Em relação a Cl total (Figura 6C), na condutividade de 4,5 dS m⁻¹, o bioestimulante

apresentou média de 6,44 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$), enquanto que o biocarvão apresentou média de 1,98 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$). Em 0,2 dS m^{-1} o biocarvão apresentou média superior aos demais tratamentos. Nos carotenoides (Figura 6D), o resultado foi semelhante, o tratamento com bioestimulante apresentou média de 2,22 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$), enquanto nos demais tratamentos foram 0,81 e 1,05 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$), em T2 (biocarvão) e T4 (biocarvão com bioestimulante), respectivamente

Figura 6 – Cl a(A), cl b(B), cl total (C) e Crt (D) das estratégias de mitigação em função da condutividade elétrica da água (0,2 e 4,5 dS m^{-1}) nas estratégias de mitigação, T1=controle; T2=biocarvão; T3= bioestimulante; T4 (biocarvão + bioestimulante).



T1 – Controle; T2 – Com biocarvão; T3 – Com bioestimulante; T4 – Combinação dos bioinsumos. Médias seguidas de mesma letra minúscula (tipos de insumos) e maiúscula (condutividade elétrica), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

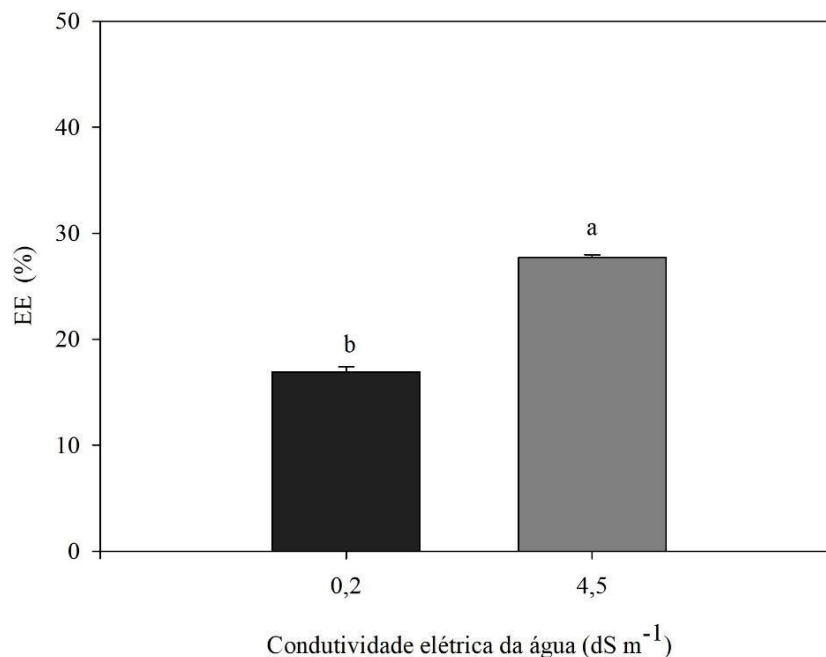
Fonte: Autora (2025)

Os pigmentos fotossintéticos, como a clorofila a (Chl a), a clorofila b (Chl b) e os carotenoides, desempenham papéis vitais na absorção e transferência de energia luminosa, e a degradação desses pigmentos leva à destruição do aparato fotossintético (Liu *et al.*, 2024). Apesar disso, o uso do bioestimulante propiciou o aumento desses pigmentos, o que pode indicar maior tolerância do algodão ao estresse salino, resultados foi semelhante ao obtido por El-Nakhel (2022) com espinafre.

6.2.3 Extravasamento de Eletrólitos

O resultado do extravasamento de eletrólitos mostrou que em condição de salinidade ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$), foi 20,5% maior que em condições de baixa condutividade elétrica. O extravasamento de eletrólitos é utilizado como um indicador da integridade da membrana celular. Quando as plantas estão expostas a condições de estresse, como o salino, a formação de espécies reativas de oxigênio (EROS), causam danos na membrana plasmática, o que interfere na permeabilidade seletiva, ocasionados pela incorporação de sódio em vez de cálcio na estrutura da membrana celular, permitindo o efluxo de íons, causando a formação de compostos tóxicos (Araújo, 2024).

Figura 7 - Extravasamento de eletrólitos (EE) em função dos grupos de salinidade ($0,2 \text{ dS m}^{-1}$) e ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$). Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).



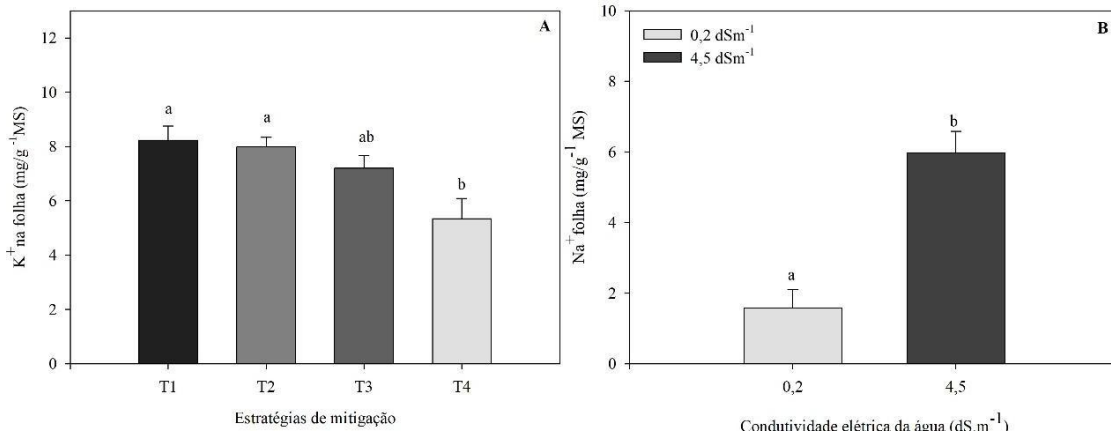
Fonte: Autora (2025)

6.3 Teores de sódio e potássio

O teor de K^+ nas folhas (Figura 8A) apresentou diferença apenas entre os bioinsumos, sendo o uso de biocarvão aquele que registrou a maior média ($7,98 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$), enquanto a combinação dos tratamentos apresentou o menor valor ($5,34 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$). Por sua vez, o teor de Na^+ nas folhas (Figura 8B) foi 73,3% superior na condutividade elétrica de 4,5

dS m⁻¹ em comparação à de 0,2 dS m⁻¹.

Figura 8 – Potássio (K⁺) nas folhas em função das estratégias de mitigação controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e combinação de biocarvão + bioestimulante (T4) (A) e sódio (Na⁺) na folha em função das salinidades 0,2 e 4,5 dS m⁻¹.

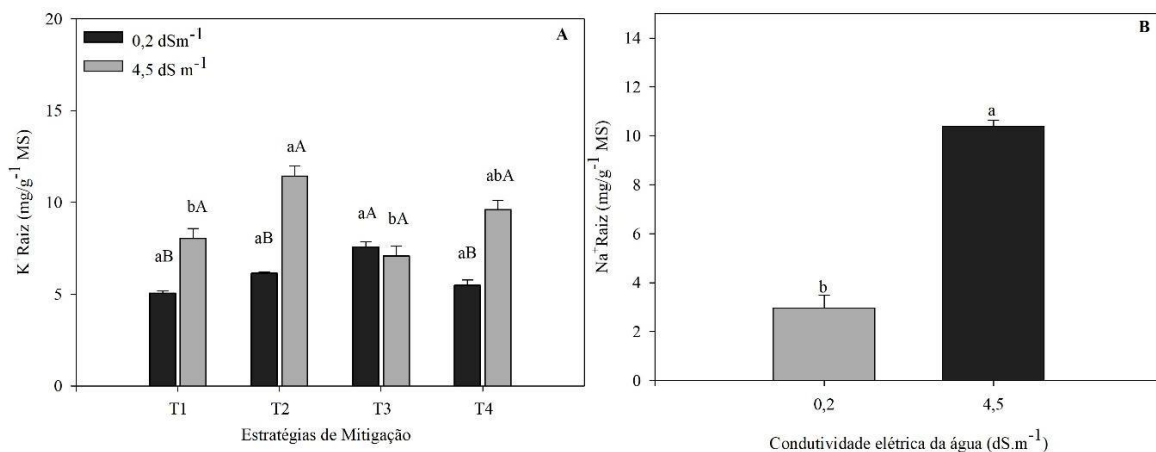


Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Fonte: Autora (2025)

Na ausência de estresse salino, o teor de K⁺ nas raízes (Figura 9A) foi maior no tratamento com bioestimulante, com média de 7,58 mg g⁻¹ MS, em números absolutos, enquanto os tratamentos com biocarvão e com uso combinado apresentaram valores 27,8% e 18,9% inferiores, respectivamente. Por sua vez, o teor de Na⁺ nas raízes (Figura 9B) apresentou médias de 2,96 mg g⁻¹ MS e 10,3 mg g⁻¹ MS à 0,2 e 4,5 dS m⁻¹, respectivamente.

Figura 9 – Potássio (K⁺) em função dos tratamentos controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e combinação de biocarvão e bioestimulante (T4) e das salinidades (A) e sódio (Na⁺) em função das salinidades 0,2 e 4,5 dS m⁻¹ (B) em raízes.

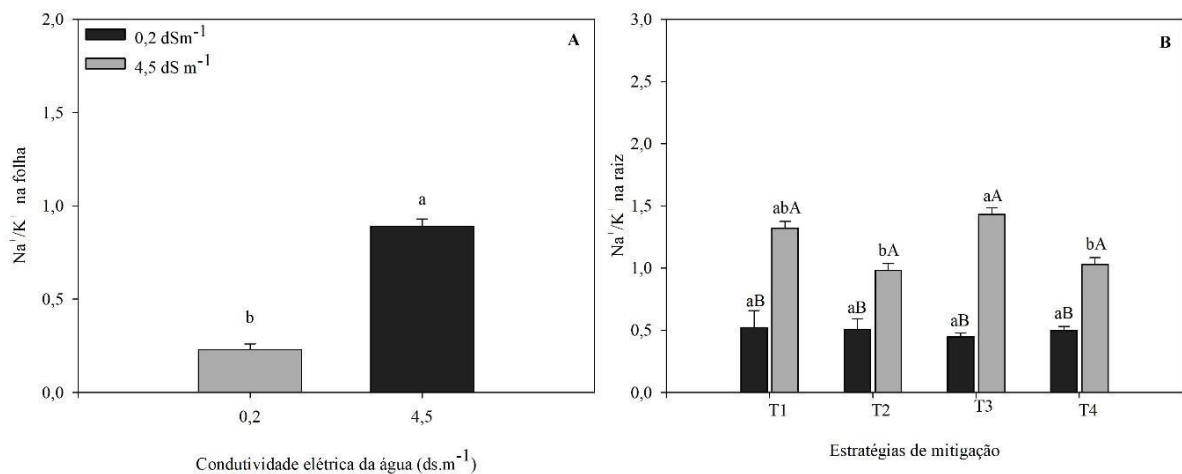


T1 – Controle; T2 – Com biocarvão; T3 – Com bioestimulante; T4 – Combinação dos bioinsumos.
Médias seguidas de mesma letra minúscula (tipos de insumos) e maiúscula (condutividade elétrica), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Fonte: Autora (2025)

A relação Na^+/K^+ nas folhas (Figura 10A) foi maior sob condições de salinidade. Por sua vez, a relação Na^+/K^+ nas raízes do algodão (Figura 10B) apresentou média de 1,43 no tratamento com maior valor, enquanto os tratamentos com biocarvão e com uso combinado apresentaram valores de 0,98 e 1,03, respectivamente.

Figura 10 – Comparação dos teores de K^+ nas duas CE e entre tratamentos controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e biocarvão+bioestimulante (T4) (A) e teor de Na^+ nas raízes em função das salinidades (B).



Um dos principais efeitos do estresse salino é a ruptura da homeostase iônica, decorrente do excesso de Na^+ nas células vegetais, o qual induz o efluxo de K^+ tanto em células das raízes quanto das folhas (Assaha, 2017). Os resultados obtidos demonstraram que o maior acúmulo de K^+ nas raízes no tratamento com biocarvão resultou em uma redução da relação Na^+/K^+ , a qual é considerada um importante indicador de tolerância à salinidade.

7 CONCLUSÃO

A salinidade promoveu alterações nos parâmetros morfofisiológicos e bioquímicos do algodoeiro. Observou-se redução do diâmetro do caule em função do acúmulo de sais; entretanto, o número de folhas foi positivamente influenciado pelo uso do bioestimulante.

Em valores absolutos, o uso do biocarvão promoveu aumento da taxa fotossintética e da transpiração tanto em condições de estresse quanto de não estresse. Em consequência, a eficiência no uso da água foi favorecida pela aplicação do biocarvão, em função de suas propriedades relacionadas à melhoria da estrutura do solo e à maior capacidade de retenção de água. No entanto, estatisticamente esses valores não diferiram entre si.

O estresse salino afetou na integridade da membrana (extravasamento de eletrólitos). Para os valores de pigmentos fotossintéticos foi observado um aumento significativo para as plantas de algodão sob estresse salino (CEa 4,5 dS m⁻¹), o que resulta de certa tolerância da cultivar utilizada (FiberMax 985 GLTP), sendo visto como uma resposta positiva frente ao estresse abiótico.

O tecido foliar do algodoeiro apresentou acúmulo de Na⁺ em ambos tratamentos, com estresse e sem estresse. Os teores de K⁺ nas folhas foram aumentados com o uso do biocarvão e reduzidos quando houve a aplicação combinada de biocarvão e bioestimulante. O biocarvão mostrou-se eficiente na relação entre os íons Na⁺ e K⁺, promovendo maior acúmulo de K⁺ na zona radicular do algodão em valores absolutos, o que indica maior retenção de potássio na raiz, aspecto fundamental para a tolerância ao estresse salino.

De maneira geral, a adoção de estratégias mitigadoras, como o uso de biocarvão e de bioestimulante, contribuiu para a atenuação do estresse salino. No entanto, a utilização de uma cultivar com rusticidade e aprofundamento de raiz não possibilitou a observação dos resultados estatísticos do uso dos bioinsumos, assim como também dos efeitos nocivos da salinidade em plantas de algodoeiro.

REFERÊNCIAS

ABDELAAL, K. A.; EL-MAGHRABY, L. M.; ELANSARY, H.; HAFEZ, Y. M.; IBRAHIM, E. I.; EL-BANNA, M.; EL-ESAWI, M.; ELKELISH, A. Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. **Agronomy**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 26, 2020.

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.

ABDURAKHMONOV, I. Y. (Ed.). **Cotton Research**, 2016. InTech. doi: 10.5772/619
 ABRAPA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO). Boletim de Inteligência de Mercado – Algodão. **Cotton Brazil**. Brasília, DF, 2024. Acesso em: <https://abrapa.com.br/wpcontent/uploads/2025/08/Relatorio_de_Estatisticas_Mensais_CottonBrazil_Agosto.pdf>

ALHARBI, S., FELEMBAN, A., ABDELRAHIM, A., & AL-DAKHIL, M. (2024). Agricultural and Technology-Based Strategies to Improve Water-Use Efficiency in Arid and Semiarid Areas. In *Water (Switzerland)* (Vol. 16, Issue 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/w16131842>

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science** 166:3-16, 2004.

ASSAHA, D. V. M., UEDA, A., SANEOKA, H., AL-YAHYAI, R., & YAISH, M. W. (2017). The role of Na⁺ and K⁺ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. In *Frontiers in Physiology* (Vol. 8, Issue JUL). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00509>

ARAÚJO, R. P. S.; SILVA, E. C. A.; PACHECO, C. M.; SANTOS, C. A.; COSTA, L. J.; PEREIRA, J. W. L.; NETO, A. B. S.; CAMPELO, I. P. F.; ALMEIDA, A. B. M.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações Hídricas e Danos às Membranas Celulares em mudas de *Adansonia digitata* após duas horas de exposição a NaCl. **Biociência e Biodiversidade: novas perspectivas em pesquisa**, ISBN 978-65-5360-827-6, v. 2; Recife-PE, 2024.

AREJANO, L. M.; BARTZ, R. M.; DOS SANTOS, T. S.; RAMOS, G. H.; GADOTTI, G. I.; QUADRO, M. S. Uso de bioestimulantes na produção agrícola. **Aspectos da biotecnologia agrícola aplicada**, 2022. <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-08-4.c2> .

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2. ed. Campina Grande:

UFPB. 1999. 153p. FAO. **Estudos Irrigação e Drenagem**, 29.

BAKER, D.N.; LANDIVAR, J.A. Simulation of plant development in GOSSYPIMUM. In: HODGES, H.F. (ed.). **Cotton Physiology**. Memphis: The Cotton Foundation, p.245-257, 1991.

BELTRÃO, N. E. D. M.; AZEVEDO, D. M. P. D (org.). O agronegócio do algodão no Brasil. v. 1. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2008.

BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. latifolium Hutch.). In: BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. (orgs.). Ecofisiologia das culturas: algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal. 1. ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2011. p. 65-124.

BRASSARD, P.; GODBOUT, S.; RAGHAVAN, V. Soil biochar amendment as a climate change mitigation tool: Key parameters and mechanisms involved. **Journal of environmental management**, v. 181, p. 484-497, 2016.

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOPPER, J.W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant Soil**. v. 1-2, n. 383, p. 3-41, 2014.

CANNEA, F. B., & PADIGLIA, A. Antioxidant Defense Systems in Plants: Mechanisms, Regulation, and Biotechnological Strategies for Enhanced Oxidative Stress Tolerance. **In Life**, (Vol. 15, Issue 8), 2025. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/life15081293>

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; NOZOMU, M. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CAVALCANTE, W. S. DA S. *et al.* Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **Irriga**, v. 25, n. 4, p. 754–763, 2020.

CARVALHO, F. E.; LOBO, A. K., BONIFACIO, A.; MARTINS, M. O.; LIMA NETO, M. C.; SILVEIRA, J. A. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H₂O₂. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 416-423, 2011.

CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 23, p. 371–393, 2011.

CUI, G.; LIU, Y.; LI, X.; WANG, S.; QU, X.; WANG, L.; ZHANG, W. Impacts of groundwater storage variability on soil salinization in a semi-arid agricultural plain. **Geoderma**, v. 454, p. 117162, 2025.

DA COSTA, M. E.; DO NASCIMENTO, E. K. Á.; MIRANDA, N. O; PIMENTA, A. S.;

RODRIGUES, A. P. M.; JÚNIOR, A. F. M. Efeito do biochar sobre condutividade elétrica e pH de solos irrigados com água salina. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 189-204, 2019.

DEHAAN, R.L.; TAYLOR, G.R. Field-Derived Spectra of Salinized Soils and Vegetation as Indicators of Irrigation-Induced Soil Salinization. *Remote Sens. Environ.*, 80, 406–417, 2002.

DE PASCALE, S.; ORSINI, F.; PARDOSSI, A. Irrigation water quality for greenhouse horticulture. In: Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops; Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2013. p.169-204. FAO Plant Production and Protection Paper, 217.

DIAS, A.S.; SANTOS, C.C. O cultivo do algodão de ponta a ponta: manejo fitotécnico, nutricional e fisiológico. In: ANDRADE, Jaily Kerller Batista (Org.). **Estudos em Ciências Florestais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, 2023, p. 73-100.

DUARTE, H. H. F.; SOUZA, E. R. Soil water potentials and *Capsicum annuum* L. under salinity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p.1-11, 2016.

DU, B., HAENSCH, R., ALFARRAJ, S., AND RENNENBERG, H. Strategies of plants to overcome abiotic and biotic stresses. **Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.** 99, 1524–1536, 2024. doi: 10.1111/brv.13079

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, n. 1, p. 3-14, 2015.

EL-ESAWI, M. A.; ALARAIHDH, I. A.; ALSHALI, A. A.; Ali, H. M.; ALAYAFI, A. A.; WITCZAK, J.; AHMAD, M. Genetic variation and alleviation of salinity stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Molecules**, [s.l.], v. 23, n. 10, p. 2488, 2018a.

EL-ESAWI, M. A.; AL-GHAMDI, A. A.; ALI, H. M.; ALAYAFI, A. A. *Azospirillum lipoferum* FK1 confers improved salt tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) by modulating osmolytes, antioxidant machinery and stress-related genes expression. **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v. 159, n. March 2019, p. 55 65, 2019.

EL-NAKHEL, C., COZZOLINO, E., OTTAIANO, L., PETROPOULOS, S. A., NOCERINO, S., PELOSI, M. E., ROUPHAEL, Y., MORI, M., & DI MOLA, I. (2022). Effect of Biostimulant Application on Plant Growth, Chlorophylls and Hydrophilic Antioxidant Activity of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Grown under Saline Stress. *Horticulturae*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100971>

FREIRE, M. H. C.; SOUSA, G. G.; CEITA, E. D. A. R.; BARBOSA, A. S.; GOES, G. F.; LACERDA, C. F. Gas exchange of fava bean varieties under salinity conditions of irrigation water. **Agrarian**, [s.l.], v. 14, n. 51, p. 61-70, 2021.

- FUZATTO, M. G. Melhoramento genético do algodoeiro. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTO, W. J. dos. (Ed.). **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: Potafos, p. 15-34. 1999.
- GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. de; GOMES E FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**, ISBN 978-85-420-0948-4, Fortaleza - CE, 2016.
- GHEYI, H. R.; LACERDA, C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; COSTA, R. N. T.; SOUZA, E. R. de; SILVA, A. O. da; FRACETTO, G. G. M.; CAVALCANTE, L. F. Management and reclamation of salt-affected soils: General assessment and experiences in the Brazilian semiarid region. **Revista Ciência Agrônômica**, [s.l.], v. 53, n. 1, p. 20217917, 2022.
- GRIDI-PAPP, I. L., Botânica e genética. In: Neves, O. S. et AL. Cultura e adubação do algodoeiro. São Paulo: **Instituto Brasileiro de Potassa**. p. 117-160, 1965
- HEINEMANN, B., & HILDEBRANDT, T. M. (2021). The role of amino acid metabolism in signaling and metabolic adaptation to stress-induced energy deficiency in plants. **Journal of Experimental Botany**, 72(13), 4634–4645. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab182>
- HILDEBRANDT, T. M. Synthesis versus degradation: directions of amino acid metabolism during arabidopsis abiotic stress response. **Plant Molecular Biology**, [s.l.], v. 98, n. 1-2, p. 121-135, 2018.
- JIAO, L.; WANG, L.; ZHOU, Q.; HUANG, X. Stomatal and non-stomatal factors regulated the photosynthesis of soybean seedlings in the present of exogenous bisphenol A. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l.], v. 145, n. 1, p. 150-160, 2017.
- KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, Inc., 1983. 489p.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for Environmental Management Science, Technology and Implementation 2**. ed. New York: Routledge, 2015. p. 1-14.
- LIU, C., JIANG, X., & YUAN, Z. (2024). Plant Responses and Adaptations to Salt Stress: A Review. In *Horticulturae* (Vol. 10, Issue 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/horticulturae10111221>
- LISEC, J.; SCHAUFLELE, R.; KOPKA, J. Gas chromatography mass spectrometry³based metabolite profiling in plants. **Nature Protocols**, v. 1, n. 1, p. 387-396, 2006.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo**, Piracicaba, 1989. 201p.
- MARAFON, A.C.; AMARAL, A.F.C.; DA SILVA, R.G.C.; REIS, E.N.; DE SÁ, V.A.; SOLETTI, J.I.; BISPO, M.D.; DE MENESES, A.T.; Reciclagem das cascas de coco verde no

contexto da economia circular: briquetagem e pirólise. **Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros**, ISSN 1678-1953; 240, Aracaju – SE, 2020.

MARUR, C.J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.5, p.313-317, 2001.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação utilizada nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB, CE e avaliação da salinidade dos solos**. 1992. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

MENDES, B. S. S.; WILLADINO, L.; CUNHA, P. C.; OLIVEIRA FILHO, R. A. de; CAMARA, T. R. Mecanismos fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 71-77, 2011.

MONTEIRO, J.E.B.A; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUIELSINI, C.; SANTIAGO, A.V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Repositório da Produção USP**, v.64, n.1, p.15-24. Bragantia, Campinas; 2005.

NÓBREGA, J. S.; FIGUEIREDO, F. R. A.; SILVA, T. I.; FÁTIMA, R. T.; FERREIRA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; BRUNO, R. L. A. Ecophysiology of *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze (Lamiaceae) under saline stress and salicylic acid. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 52, n. 9, p. 20210389, 2022.

OLIVEIRA, L.K. B de. **Nanobioestimulantes à base de carbon dots em plantas de feijão-caupi sob estresse salino: aspectos morfofisiológicos, bioquímicos, metabólicos e produtivos**. 2024. 117 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

OLIVEIRA, L.L.P.; DIAS, N.S.; FARIAS, W.C.; MEDEIROS, L.C.; FERREIRA, L.L. Tolerância de cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum*) à salinidade da água de irrigação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n.4, p. 232 – 237, Mossoró – RN, 2013.

PAIM, T. D. P.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. M.; ABDALLA, A. L. Uso de subprodutos do algodão na nutrição de ruminantes. **Ciênc. vet. tróp.**, p. 24-37, 2010.

PIMENTA, J. A. Relações Hídricas. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, pág. 11 a 16, 2004.

RAZA, A., SALEHI, H., HAGHJOU, M. M., RAHMAN, M. A., PENG, Y., LI, Y., CHARAGH, S., KHAN, M. I. R., CHEN, Y., SIDDIQUE, K. H. M., & HU, Z. (2026). The hidden role of amino acids and secondary metabolites in plant drought tolerance. **Plant Science**, 364, 112919.

<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112919>

- REZENDE, E. I.; ANGELO, L. C.; DOS SANTOS, S. S.; MANGRICH, A. S. Biocarvão (biochar) e sequestro de carbono. **Revista virtual de química**, v. 3, n. 5, p. 426-433, 2011.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. FAO. **Estudos Irrigação e Drenagem**, 48.
- ROESSNER, U.; LUEDEMANN, A.; BRUST, D.; FIEHN, O.; LINKE, T.; WILLMITZER, L.; FERNIE, A. R. Metabolic profiling allows comprehensive phenotyping of genetically or environmentally modified plant systems. **The Plant Cell**, v. 13, p. 11-29, 2001.
- SAHITO, Z. A.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; COTA-RUIZ, K. Editorial: Plant responses to salt stress. **Frontiers in Plant Science** (Vol. 15), 2024. Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1475599>
- SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F.; PIAULINO, A. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia biosfera**, v. 8. n. 15. 2011.
- SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 2010.
- SILVA, N.M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E.C. & SANTOS, W.J., eds. **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba, Potafós, 1999. p.69-81.
- SILVEIRA, J. A.; SILVA, S. L.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**, v. 1, p. 161-18, 2010.
- SILVA JÚNIOR, J. V.; BEZERRA, A. A. C.; SILVA, E. M. Crescimento e desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi em função da salinidade da água de irrigação. **Irriga**, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 343-366, 2021.
- SILVA, A. L. J., DE FARIAS, O. R., CORRÊA, É. B., DE LACERDA, C. F., DE MELO, A. S., & Oliveira, M. D. de M. (2025). Biostimulant modulate the physiological and biochemical activities, improving agronomic characteristics of bell pepper plants under salt stress. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99414-w>
- SINGH, H. P.; BATISH, D. R.; KOHLI, R. K.; ARORA, K. Arsenic-induced root growth inhibition in mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb.) is due to oxidative stress resulting from enhanced lipid peroxidation. **Plant Growth Regulation**, [s.l.], v. 53, n. 1, p. 65-73, 2007.

SINGH, A., RAJPUT, V. D., VARSHNEY, A., SHARMA, R., GHAZARYAN, K., MINKINA, T., ALEXIOU, A., & EL-RAMADY, H. Revolutionizing Crop Production: Nanoscale Wonders-Current Applications, Advances, and Future Frontiers. **Egyptian Journal of Soil Science**, 64(1), 221–258, 2024. <https://doi.org/10.21608/ejss.2023.246354.1684>

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TREVISAN, R. G., VILANOVA JÚNIOR, N. S., EITELWEIN, M. T., & MOLIN, J. P. . Management of plant growth regulators in cotton using active crop canopy sensors. **Agriculture (Switzerland)**, 8(7), 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture8070101>

UE (2019). Regulation of the european parliament and of the council laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. Disponível em:<<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R1009-20241120>>. Acesso em: 23 de dezembro de 2025.

WADDLE, B.A. Crop growing practices. In: KOHEL, R.J.; LEWIS, C.F. (Ed). **Cotton** .Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1984. p. 233-263.

WANG, T.; XU, Y.; ZUO, Q.; SHI, J.; WU, X.; LIU, L.; SHENG, J.; JIANG, P.; BEN-GAL, A. Evaluating and improving soil water and salinity stress response functions for root water uptake. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 287, n. September 2023, p. 108451, 2023.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 144, n. 1, p. 307-313, 1994.

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, 2017. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>.

ZHANG, J.; LU, F.; ZHANG, H.; SHAO, L.; CHEN, D.; & HE, P. Multiscale visualization of the structural and characteristic changes of sewage sludge biochar oriented towards potential agronomic and environmental implication. **Scientific Reports**, 2015.