



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

BRUNA ALVES DA SILVA

BIOESTIMULANTE À BASE DE EXTRATO DA ALGA MARINHA *Ascophyllum nodosum* E ÁCIDOS FÚLVICOS NA TOLERÂNCIA DO ESTRESSE SALINO EM SOJA

FORTALEZA

2023

BRUNA ALVES DA SILVA

BIOESTIMULANTE À BASE DE EXTRATO DA ALGA MARINHA *Ascophyllum nodosum*
E ÁCIDOS FÚLVICOS NA TOLERÂNCIA DO ESTRESSE SALINO EM SOJA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Agronomia/Fitotecnia Área de concentração: Fisiologia, Bioquímica e Biotecnologia Vegetal.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Rosilene Oliveira Mesquita.

FORTALEZA

2023

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)

- S578b Silva, Bruna Alves da.
Bioestimulante à base de extrato da alga marinha *Ascophyllum nodosum* e ácidos fúlvicos na tolerância do estresse salino em soja / Bruna Alves da Silva. – 2023.
83 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.
1. Estresse osmótico. 2. *Glycine max* (L.) Merrill. 3. Crescimento. 4. Aclimação. I. Título.
CDD 630
-

BRUNA ALVES DA SILVA

BIOESTIMULANTE À BASE DE EXTRATO DA ALGA MARINHA *Ascophyllum nodosum*
E ÁCIDOS FÚLVICOS NA TOLERÂNCIA DO ESTRESSE SALINO EM SOJA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fitotecnia. Área de concentração: Fisiologia, bioquímica e biotecnologia vegetal.

Aprovada em: 08/08/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Rosilene Oliveira Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Adriana Guirado Artur
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr^ª. Stelamaris de Oliveira Paula Marinho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus.

Ao meu pai, Francisco (*in memoriam*); a minha
irmã, Mônica, aos meus verdadeiros amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre esteve ao meu lado e me sustentou em todos os momentos.
A minha irmã, Mônica, pelo apoio e incentivo durante toda essa jornada.

Aos meus amigos, Brenda Marques e Rogério Jucá, por sempre me incentivar e acreditar na minha capacidade.

A professora Dra. Rosilene Oliveira Mesquita, pela orientação e pela paciência.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite.

Aos novos colegas, Daniela Freitas, Sávio Justino e Isabelle Pereira, pelo apoio nas análises em laboratório.

Aos amigos de experimento, Johny Souza, Letícia Bessa e Rafael Santiago, pelo auxílio e momentos de descontração.

Aos membros do PET AGRONOMIA da Universidade Federal do Ceará pela colaboração durante a condução do experimento.

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo auxílio financeiro para execução deste trabalho.

A todos que participaram direta ou indiretamente na elaboração, condução e desenvolvimento deste trabalho.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”.

Ayrton Senna

RESUMO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das principais culturas do mundo, de grande interesse econômico, é rica em aminoácidos e lipídios, se tornando uma importante fonte de proteína vegetal e matéria-prima na produção de biodiesel. Devido a sua plasticidade, o cultivo da soja é difundido mundialmente, de modo que, a cultura seja propícia a diversos estresses abióticos e bióticos. Os principais estresses abióticos são causados por alterações no ambiente, como a falta de água e a salinização dos solos. O estresse salino é provocado por excesso de sais tem origem natural e antrópica. Um das atividades humanas que mais provocam a salinidade é o uso de água de má qualidade na irrigação. Atualmente, o processo de acúmulo de sais em áreas agricultáveis é crescente, devido principalmente ao excesso de solutos nos processos fisiológicos e comprometem a produção de alimentos. O estresse salino possui componentes osmóticos e iônicos, e ambos alteram desde aspectos biométricos ao metabolismo da planta. Como forma de mitigar aspectos negativos causados pela salinidade, pesquisas são desenvolvidas em diversas modalidades e com diferentes tecnologias. Como resultado, a aplicação de bioestimulantes são utilizados para proporcionar melhor condicionamento da planta às condições estressantes e melhorar a absorção de nutrientes. Dentre as diversas composições de bioestimulantes podem estar presentes, proteínas hidrolisadas, extratos de algas marinhas, ácidos húmicos e nanopartículas. Assim, o objetivo do presente trabalho foi analisar o uso do bioestimulante a base dos extratos da alga marinha *Ascophyllum nodosum* (L.) e ácidos fúlvicos em parâmetros bioquímicos, fisiológicos e índices morfofisiológicos da soja sob estresse salino. Para isso plantas de soja foram submetidas ao estresse salino com solução salina com os sais NaCl, CaCl₂, MgCl₂ na proporção de 7:2:1 resultando na condutividade de 4,0 dS.m⁻¹, e o segundo fator correspondeu a aplicação do bioestimulante no estágio fenológico V3 com coleta de 20 plantas; Posteriormente outras 20 plantas foram pulverizadas com aplicação do bioestimulante nos estádios fenológicos V3+R1 e coletadas para análises bioquímicas e fisiológicas. A aplicação do bioestimulante apenas no V3 mostrou que a irrigação composta pela solução salina não comprometeu significativamente o teor relativo de água da planta e houve atividades das enzimas antioxidantes APX, CAT e SOD. Dentre os mecanismos não enzimáticos, a prolina e carotenoides também apresentaram aumento. Apesar dos danos iniciais do estresse salino causados no vazamento de eletrólitos e MDA se mantiveram inferior com o uso do bioestimulante. Com a aplicação e V3+R1, os resultados mostraram que o uso do bioestimulante propiciou maior crescimento do sistema radicular, diâmetro do caule, área foliar, número de folhas e crescimento relativo. Os efeitos do estresse

salino causaram redução no potencial hídrico foliar e no teor relativo de água. O VE e MDA foram inferiores com o bioestimulante. A condutância estomática foi maior e resultou em maiores taxas fotossintéticas. O sistema antioxidante enzimático apresentou incremento nas atividades da APX, CAT e SOD. Houve aumento no conteúdo de prolina, proteínas solúveis e carotenoides. Com isso, o uso do bioestimulante com *Ascophyllum nodosum* (L.) e ácidos fúlvicos é eficiente no condicionamento e desenvolvimento de mecanismos de defesa antioxidante e tolerância na atenuação dos efeitos deletérios do estresse salino na soja.

Palavras-chave: Estresse osmótico; *Glycine max*; Crescimento; Aclimação.

ABSTRACT

Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] is one of the main crops in the world, of great economic interest, it is rich in amino acids and lipids, becoming an important source of vegetable protein and raw material in the production of biodiesel. Due to its plasticity, soybean cultivation is widespread worldwide, so that the crop is prone to various abiotic and biotic stresses. The main abiotic stresses are caused by changes in the environment, such as lack of water and soil salinization. Salt stress is caused by excess salts of natural and anthropogenic origin. One of the human activities that most causes salinity is the use of poor quality water in irrigation. Currently, the process of salt accumulation in agricultural areas is increasing, mainly due to excess solutes in physiological processes and compromising food production. Salt stress has osmotic and ionic components, and both alter biometric aspects and the plant's metabolism. As a way to mitigate negative aspects caused by salinity, research is carried out in different modalities and with different technologies. As a result, the application of biostimulants are used to provide better plant conditioning to stressful conditions and improve nutrient absorption. Among the different compositions of biostimulants, hydrolyzed proteins, seaweed extracts, humic acids and nanoparticles may be present. Thus, the objective of the present work was to analyze the use of a biostimulant based on extracts of the seaweed *Ascophyllum nodosum* (L.) and fulvic acids on biochemical, physiological parameters and morphophysiological indices of soybeans under salt stress. For this purpose, soybean plants were subjected to saline stress with a saline solution containing the salts NaCl, CaCl₂, MgCl₂ in a ratio of 7:2:1 resulting in conductivity of 4.0 dS.m⁻¹, and the second factor corresponded to the application of biostimulant at phenological stage V3 with collection of 20 plants; Subsequently, another 20 plants were sprayed with application of the biostimulant at the V3+R1 phenological stages and collected for biochemical and physiological analyses. The application of the biostimulant only in V3 showed that irrigation composed of saline solution did not significantly compromise the relative water content of the plant and there were activities of the antioxidant enzymes APX, CAT and SOD. Among the non-enzymatic mechanisms, proline and carotenoids also showed an increase. Despite the initial damage caused by salt stress, electrolyte leakage and MDA remained lower with the use of the biostimulant. With the application of V3+R1, the results showed that the use of the biostimulant led to greater growth of the root system, stem diameter, leaf area, number of leaves and relative growth. The effects of salt stress saline caused a reduction in leaf water potential and relative water content. VE and MDA were lower with the biostimulant. Stomatal conductance was higher and resulted in higher photosynthetic rates. The enzymatic

antioxidant system showed an increase in the activities of APX, CAT and SOD. There was an increase in the content of proline, soluble proteins and carotenoids. Therefore, the use of biostimulant with *Ascophyllum nodosum* (L.) and fulvic acids is efficient in conditioning and developing antioxidant defense mechanisms and tolerance in attenuating the deleterious effects of salt stress in soybeans

Keywords: Osmotic stress; *Glycine max* (L.) Merrill; Growth; Acclimatization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Casa de vegetação onde o experimento foi conduzido	20
Figura 2	– Dados meteorológicos ao longo do experimento	20
Figura 3	– Teor relativo de água (TRA) em plantas de soja submetida ao estresse salino (A) e aplicação de bioestimulante no V3 (B).....	26
Figura 4	– Taxa fotossintética – A (A) e condutância estomática – g_s (B) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3	27
Figura 4	– Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e do estresse salino sobre Transpiração– E (C) e eficiência de carboxilação – $Eic (A/Ci)$ (D) em plantas de soja	28
Figura 5	– Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e estresse salino sobre a razão F_v/F_m -PS II (A), Rendimento quântico efetivo do fotossistema II - $\Phi PSII$ (B), coeficiente de dissipação não fotoquímica (C) e na taxa de transporte de elétrons – ETR (D) em plantas de soja	29
Figura 6	– Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e estresse salino sobre conteúdo de clorofila a – $Chl a$ (A), clorofila b – $Chl b$ (B), clorofila total – $Chl T$ (C) – e carotenoides – Crt (D) em plantas de soja	30
Figura 7	– Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e do estresse salino sobre os teores foliares do sódio ($Na^+ F$) (A) e de potássio ($K^+ F$) em plantas de soja ...	31
Figura 8	– Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e do estresse no vazamento de eletrólitos (A) e MDA (C)	32
Figura 9	– Atividade das enzimas APX (A), CAT (B) e SOD (C) da aplicação bioestimulante no V3 na soja sob estresse salino na soja	33
Figura 10	– Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e estresse salino sobre conteúdo de prolina em plantas de soja	34
Figura 11	– Casa de vegetação	41
Figura 12	– Dados meteorológicos	41

Figura 13 – Diâmetro do caule - DC (A) e número de folhas – NF (B) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1	48
Figura 13 – área foliar – AF (C), comprimento da raiz – CR (D) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.....	49
Figura 13 – Massa seca total – MST (E) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1	50
Figura 14 – Área foliar específica - AFE (A), e crescimento relativo– Rw (C) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1	51
Figura 15 – Razão de massa foliar - RMF (A), razão de massa caulinar – RMC (B) e razão de massa radicular– RMR (C) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1	52
Figura 16 – Potencial hídrico foliar - ψ_{wf} (A) e teor relativo de água - TRA (B) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1	53
Figura 17 – Teor de Na^+F (A), K^+F (B) e razão Na^+/K^+ (C), em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1	55
Figura 18 – Vazamento de eletrólitos - VE (A) e malondialdeído - MDA (B) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.....	56
Figura 19 – Taxa fotossintética – A (A), condutância estomática – g_s (B), transpiração - E (C), eficiência de carboxilação – Eic (D), em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.....	57
Figura 20 – Eficiência fotoquímica máxima do PS II- F_v/F_m (A), eficiência fotoquímica efetiva do PS II - Φ_{PSII} (B), quenching não fotoquímico - NQP (C), e taxa de transporte de elétrons - ETR (D) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante, em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.....	58
Figura 21 – clorofila a - $Chl a$ (A), clorofila b - $Chl b$ (B), clorofila total - $Chl T$ (C) e	59

carotenoides – <i>Crt</i> (D), em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.....	
Figura 22 – Proteínas solúveis totais – PsT em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.....	60
Figura 23 – Atividade enzimática da ascorbato peroxidase- APX (A), catalase - CAT (B) e superóxido dismutase – SOD (C), em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.....	61
Figura 24 – Conteúdo de prolina em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>A</i>	Taxa de assimilação do CO ₂ / Taxa Fotossintética
AF	Área foliar
AFE	Área foliar específica
APX	Ascorbato peroxidase
CAT	Catalase
CB	Com bioestimulante
CE	Condutividade elétrica
<i>Chl a</i>	Clorofila <i>a</i>
<i>Chl b</i>	Clorofila <i>b</i>
<i>Chl T</i>	Clorofila <i>total</i>
CR	Comprimento radicular
<i>Crt</i>	Carotenoides
DC	Diâmetro do caule
<i>E</i>	Transpiração
<i>EiC</i>	Eficiência de carboxilação
EROS	Espécies reativas de oxigênio
ETR	Taxa de transporte de elétrons
EUA	Eficiência no uso da água
Fv/Fm	Rendimento quântico máximo do PS II
<i>gs</i>	Condutância estomática
MDA	Malondialdeído
MST	Massa seca total
NF	Número de folhas
qP	Coefficiente de dissipação fotoquímico
NQP	Quenching não fotoquímico
PS II	Fotossistema II
PsT	Proteínas solúveis totais
R1	Estádio reprodutivo da soja
R/PA	Razão raiz parte aérea
RAF	Razão de área foliar
Ci/Ca	Razão entre CO ₂ interno/CO ₂ atmosférico

RMC	Razão de massa caulinar
RMF	Razão de massa foliar
RMR	Razão de massa radicular
Rw	Crescimento relativo
S0	Sem estresse salino (0,3 dS.m ⁻¹)
S1	Com estresse salino (4,0 dS.m ⁻¹)
SB	Sem bioestimulante
SOD	Superóxido dismutase
TRA	Teor Relativo de água
VE	Vazamento de eletrólitos
V3	Estádio vegetativo V3 da soja
ψ_{wf}	Potencial Hídrico foliar
Φ PSII	Rendimento quântico do PS II

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	APLICAÇÃO FOLIAR DE BIOESTIMULANTE MITIGA IS EFEITOS DELETÉRIOS INDUZIDOS PELA SALINIDADE EM PLANTAS DE SOJA POR PROMOVER MECANISMOS ANTIOXIDANTES	18
2.1	Introdução.....	18
2.2	Material e Métodos	20
2.2.1	<i>Localização e caracterização experimental</i>	20
2.2.2	<i>Material vegetal e condições experimentais</i>	21
2.3	Variáveis analisadas	22
2.3.1	<i>Teor relativo de água</i>	22
2.3.2	<i>Trocas gasosas</i>	22
2.3.3	<i>Fluorescência da clorofila a</i>	23
2.3.4	<i>Pigmentos fotossintéticos</i>	23
2.3.5	<i>Solutos inorgânicos</i>	23
2.3.6	<i>Vazamento de eletrólitos e Malondialdeído</i>	24
2.3.7	<i>Enzimas oxidantes</i>	24
2.3.8	<i>Prolina</i>	24
2.4	Análise Estatística	25
3	RESULTADOS	26
4	DISCUSSÃO	35
5	CONCLUSÃO	38
6	ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS E PARÂMETROS BIOQUÍMICOS NA TOLERANCIA DO ESTRESSE SALINO INDUZIDOS PELA APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE	39
6.1	Introdução	39
6.2	Material e Métodos	41
6.2.1	<i>Localização e caracterização experimental</i>	41
6.2.2	<i>Material vegetal e condições experimentais</i>	42
6.3	Variáveis analisadas	43
6.3.1	<i>Parâmetros biométricos</i>	43
6.3.2	<i>Índices morfofisiológicos</i>	43

6.3.3	<i>Potencial Hídrico</i>	44
6.3.4	<i>Teor relativo de água</i>	44
6.3.5	<i>Pigmentos fotossintéticos</i>	44
6.3.6	<i>Trocas gasosas</i>	45
6.3.7	<i>Fluorescência da clorofila a</i>	45
6.3.8	<i>Solutos inorgânicos no tecido foliar</i>	45
6.3.9	<i>Danos de membrana</i>	46
6.3.10	<i>Proteínas solúveis totais e Enzimas antioxidantes</i>	46
6.3.11	<i>Prolina</i>	46
6.4	Análise estatística e confecção de gráficos	47
7	RESULTADOS	48
8	DISCUSSÃO	63
9	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das principais leguminosas comercializadas em todo mundo (TÓFFANO PEREIRA *et al.*, 2022). Suas sementes são destinadas para a produção de óleo, biodiesel e fazem parte da alimentação humana e animal. Em seus grãos são encontrados teores de proteínas (35-45%), lipídios (15-25%), carboidratos (30-35%), e fibras (17%) (SINGH; KRISHNASWAMY, 2022), mas também, são encontrados compostos que atuam como antioxidantes, antimicrobianos e anti-inflamatórios (SHARMA *et al.*, 2014; YU *et al.*, 2016).

Atualmente, os principais países produtores de soja são Brasil, Argentina e Estados Unidos (CAMPOBENEDETTO *et al.*, 2020). De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em 2020 e 2021 foram plantados mais de 127 milhões de hectares de soja em todo mundo (USDA, 2022). O plantio da soja nas mais diversas condições de clima tropical e temperado a torna extremamente susceptível a estresses abióticos e bióticos (HASANUZZAMAN *et al.*, 2022).

A ocorrência de eventos adversos afeta significamente a produção de alimentos (YAGHOUBIAN *et al.*, 2022). Estresses abióticos, como a seca e a salinidade, comprometem a máxima expressão do potencial genético das plantas no campo (TAIZ *et al.*, 2017) e geram perdas de mais de 50% a 70% de toda produção agrícola (HASSAN *et al.*, 2021). Nesse contexto, a salinidade é um dos estresses abióticos que mais impactam negativamente as culturas (ADHIKARI *et al.*, 2020). Em todo mundo, já são mais de 900 milhões de hectares afetados pela salinidade e, cerca de 20% das áreas irrigadas já estão em processo de salinização, principalmente em regiões áridas e semiáridas (SAHAB *et al.*, 2021).

Dentre os fatores que possibilitam o avanço da salinização estão a ocorrência de fenômenos naturais e ações antrópicas. A salinidade classificada como primária, ocorre devido a processos naturais, como o intemperismo das rochas e deslocamento de sais de áreas costeiras através da erosão eólica; já a salinidade secundária, gerada por ações antrópicas, está principalmente atrelada ao uso excessivo de fertilizantes e à irrigação com água salina (SUHANI *et al.*, 2020; SAHAB *et al.*, 2021; SINGH, 2021).

O estresse salino limita o crescimento das plantas em duas fases, impondo simultaneamente o estresse osmótico e iônico (MUNNS; TESTER, 2008). O componente osmótico influencia no potencial hídrico foliar (Ψ_w), potencial osmótico (Ψ_s) e na pressão de turgor (Ψ_p) (SHELDON *et al.*, 2017). O efeito osmótico do estresse salino afeta as relações hídricas da planta, reduzindo a absorção de água e do turgor celular, além disso, como forma

de reduzir a perda de água, os estômatos passam a apresentar maior resistência, levando as menores taxas transpiratórias comprometendo os mecanismos de dissipação de energia, e também estimulando enzimas que degradam a clorofila, comprometendo o processo fotossintético (SHELDON *et al.*, 2017; METHENNI *et al.*, 2018; BETZEN *et al.*, 2023).

A entrada de íons de Na^+ e Cl^- em dicotiledôneas, como a soja, se dá predominantemente via simplástica e, para isso são requeridos transportadores e canais. Os canais catiônicos não seletivos (NSCC) e o co-transporte/antiporte (Na^+/H^+), assim como as aquaporinas são necessários para a absorção do Na^+ nas planta. Para o Cl^- , o co-transporte (Cl^-/H^+) e os transportadores de nitrato estão relacionado com influxo de Cl^- nas células da raiz (DEINLEIN *et al.*, 2014). A presença e acúmulo desses íons desencadeiam os efeitos osmóticos e a toxicidade iônica provocados pelo estresse salino (ISAYENKOV, 2019).

O efeito iônico do estresse salino desencadeia lesões nos tecidos vegetais e desequilíbrio nutricional, devido à competição por sítios de absorção (SARKER; OBA, 2020).

Além dos efeitos acima mencionados, os componentes do estresse salino estimulam a produção excessiva de compostos tóxicos (ULLAH *et al.*, 2022). Até determinado ponto, as espécies reativas de oxigênio (EROs) atuam como sinalizadores celulares, no entanto, com a alteração da homeostase da planta provocada pelo estresse salino, compostos como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila (OH^\cdot) e ânion superóxido (O_2^\cdot) resultam na peroxidação lipídica, vazamento de eletrólitos e desnaturação de proteínas e (CAMBRIDGE *et al.*, 2017).

Como maneira de se adaptar a ambientes salinos as plantas apresentam diversos mecanismos de tolerância (MUNNS *et al.*, 2015), que atuam de acordo com a concentração de sais, a tolerância da planta, se halófito ou glicófito, e ao tempo de exposição ao estresse (KRISHNAMURTHY *et al.*, 2016). Por conseguinte, contribuem com os mecanismos de tolerância, armazenamento e compartimentalização de íons, modulação de hormônios e adaptações morfológicas (GUPTA *et al.*, 2017).

Em resposta ao estresse oxidativo, as plantas desenvolveram um complexo sistema de defesa composto por atividades enzimáticas e outros compostos (FAROOQ *et al.*, 2017). Dentre as enzimas que compõem o sistema de defesa antioxidativo enzimático estão incluídas a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), peroxidases (POD) e glutathione redutase (GR); e, dentre os componentes não enzimáticos estão incluídos o ascorbato, carotenóides, poliaminas, polifenóis, compostos fenólicos e prolina (HINAI *et al.*, 2022).

Adicionalmente ao sistema de defesa das plantas estimulado por alterações nas respostas fisiológicas e bioquímicas em condições adversas (LLANES *et al.*, 2016). O conhecimento de tecnologias capazes de mitigar os efeitos danosos nos vegetais do estresse salino são necessárias.

Com isso as abordagens complementares, como o uso de bioestimulantes, são desenvolvidos na atenuação na resistência e diminuição de perdas agrícolas (ZUZUNAGAROSAS *et al.*, 2023). Assim, os bioestimulantes são considerados insumos agrícolas capazes de atenuar os danos as plantas e reduzir as perdas agrícolas (YAKHIN *et al.*, 2017).

Segundo Bulgari *et al.* (2019) os bioestimulantes são substâncias que promovem os processos nutricionais naturais de uma cultura, como melhoraria na disponibilidade de nutrientes na rizosfera, eficiência do uso de nutrientes, tolerância ao estresse abiótico ou características de qualidade da cultura.

Na legislação brasileira, o termo “bioestimulante” não é encontrado, todavia, o Decreto nº 4.954/2004 categoriza os produtos que contêm compostos com efeitos benéficos e estimulantes para as culturas agrícolas como biofertilizantes. A Instrução Normativa Brasileira nº 61, de 8 de julho de 2020, estabelece regras sobre definições, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem de fertilizantes orgânicos e biofertilizantes destinados à agricultura.

Os bioestimulantes são derivados principalmente de uma variedade de materiais orgânicos, incluindo ácidos húmicos, fúlvicos e carboxílicos, hidrolisados de proteínas, compostos contendo nitrogênio, extratos de algas marinhas e microalgas, vitaminas, aminoácidos, ácido ascórbico, compostos fenólicos e outras substâncias (CANELLAS *et al.*, 2015; BULGARI *et al.*, 2019; RICCI *et al.*, 2019).

Os extratos de algas marinhas já constituem cerca de 33% do mercado global de bioestimulantes (EL BOUKHARI *et al.*, 2023). A alga marrom *Ascophyllum nodosum* é amplamente processada na indústria devido a sua capacidade de aliviar o dano oxidativo nas plantas, por promover a eliminação de EROs e aumento da síntese de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, além de minimizar os desequilíbrios iônicos e a peroxidação lipídica, bem como melhorar o desempenho fotossintético (MARIANI *et al.*, 2017; SANTANIELLO *et al.*, 2017; SHARMA *et al.*, 2019).

Experimentos realizados com soja (DO ROSÁRIO ROSA *et al.*, 2020) e cana-de-açúcar (JACOMASSI *et al.*, 2022) mostram efeitos positivos na atenuação de danos e na ativação de mecanismos de tolerância à seca após uso de bioestimulantes com base em extrato da alga *Ascophyllum nodosum* e ácidos fúlvicos. No entanto, são poucas as pesquisas

relacionadas a compreensão dos mecanismos de ação dos bioestimulantes na tolerância ao estresse salino.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi analisar a ação de bioestimulante à base de extrato da alga marinha *Ascophyllum nodosum* e ácidos fúlvicos na ativação dos mecanismos de tolerância ao estresse salino na cultura da soja.

2 APLICAÇÃO FOLIAR DE BIOESTIMULANTE MITIGA OS EFEITOS DELETÉRIOS INDUZIDOS PELA SALINIDADE EM PLANTAS DE SOJA POR PROMOVER MECANISMOS ANTIOXIDANTE

2.1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das culturas de maior importância econômica, amplamente cultivada e uma fonte de proteína vegetal e óleo (ADHIKARI *et al.*, 2020). A produtividade da soja pode ser significativamente influenciada por estresses bióticos e abióticos, como a salinidade. A salinização do solo é um problema mundial, cerca de 900 milhões de hectares, ou 20% da terra mundial já se encontra comprometida com o acúmulo de sais (SHARIF *et al.*, 2019; ARIF *et al.*, 2020).

A salinidade tem causado impacto negativo na morfologia e nos mecanismos bioquímicos das plantas (HASSAN *et al.*, 2021). O estresse iônico e osmótico causado pelo excesso de sais levam à toxicidade iônica, perturbando a absorção de minerais e a homeostase iônica (WANI *et al.*, 2019).

Como mecanismos de resposta ao estresse salino, as plantas apresentam processos bioquímicos e fisiológicos de aclimação objetivando a manutenção de sua homeostase (SAFDAR *et al.*, 2019). Dentre eles estão a compartimentalização e transporte de íons, bem como a estimulação de enzimas antioxidantes, a fim de reduzir a produção excessiva das espécies reativas de oxigênio (EROs), que prejudicam a integridade e a estabilização da membrana (HINAI *et al.*, 2022).

A resposta ao estresse em plantas envolve a regulação de muitos genes, fatores de transcrição e metabólicos. Nesse contexto, o estudo de metabólitos produzidos pelas plantas possibilita identificar mecanismos essenciais de aclimação à salinidade (ARIF *et al.*, 2020; GUO *et al.*, 2015). O metaboloma produzido, como aminoácidos, dipeptídeos, flavonoide, terpenos, alcalóides, ácidos orgânicos, ácidos inorgânicos, carboidratos, atuam na regulação na resposta ao estresse, na facilitação da eliminação de EROs e proteção da maquinaria fotossintética (JOSEPH *et al.*, 2019; KUMARIA; PARIDA, 2018).

Recentemente, a aplicação de bioestimulantes compostos por extratos de algas, plantas, proteínas hidrolisadas e ácidos fúlvicos (KLOEPPER, 2014; CANELLAS *et al.*, 2015) tornou-se mais difundida no campo, uma vez que, o seu uso permite que as plantas respondam com maior eficiência aos estresses abióticos (BATTACHARYYA *et al.*, 2015).

Tendo isso em vista, o objetivo do trabalho foi analisar a ação de bioestimulante a base do extrato da alga marinha *Ascophyllum nodosum* e ácidos fúlvicos nas relações hídricas, trocas gasosas e no sistema defesa antioxidante enzimático e não-enzimático da soja sob estresse salino.

2.2 Material e Métodos

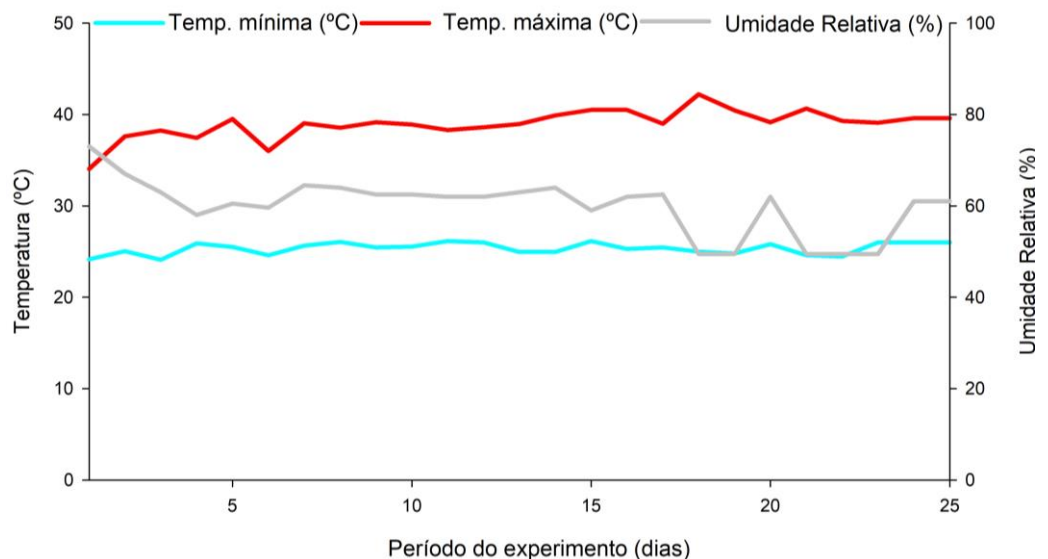
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de outubro a novembro de 2022. A casa de vegetação (Figura 1) pertence ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, no Campus do Pici, na cidade de Fortaleza – Ceará, com latitude de 3°43'02" S, longitude de 38° 32'35" W e altitude de 12 m do nível do mar. Durante o período de condução do experimento os dados meteorológicos de temperatura mínima, temperatura máxima e umidade relativa foram acompanhados e estão representados na Figura 2.

Figura 1: Casa de vegetação onde o experimento foi conduzido.



Figura 2: Dados meteorológicos ao longo do experimento.



2.2.2 Material vegetal e condução experimental

As sementes de soja MONSOY 8349 IPRO utilizadas no experimento foram doadas pela Fazenda Faedo, localizada no município de Limoeiro do Norte – CE. O solo foi coletado da camada de 0-20 cm da Fazenda Experimental Vale do Curu, pertencente à UFC, localizada no município de Pentecostes-CE e posteriormente transportado ao Campus do Pici (Fortaleza-CE). Após um ensaio preliminar dos atributos do solo, verificou-se a necessidade de adicionar areia lavada para o melhor desenvolvimento do experimento, na proporção de 1:1. Em seguida, uma amostra da mistura (solo + areia lavada) foi levada ao Laboratório de solos/água da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para análise física e química (Tabela 1).

Tabela 1 – Características físicas e químicas da mistura (solo + areia lavada).

pH	Ds	CE	MO	Ca	Mg	Na	K	H+Al	S	T	V	P	Cu	Fe	Mn	Zn
H ₂ O	g/cm ³	dS.m ⁻¹	g/kgcmolc/kg.....						%	mg/kg.....				
7,0	1,46	0,26	5,65	2,70	1,20	0,18	0,20	0,66	4,3	4,9	87	57	0,61	57,10	33,15	1,76

Fonte: Laboratório de solos/água SRH- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME.

Ds: densidade global; CE: condutividade elétrica;

Com os dados da análise do solo, foram adicionados fertilizantes N-P-K, de acordo com o Boletim Cerrados (EMPRAPA, 2017), para a cultura da soja. Em seguida, 5 (cinco) sementes foram semeadas em potes com 24 cm de altura, 18 cm diâmetro menor e 23 cm de diâmetro maior, com 10 kg de mistura. O desbaste foi realizado 10 (dez) dias após a semeadura (DAS), restando uma planta por vaso.

A água utilizada para a irrigação foi a da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), com condutividade elétrica (CE) de 0,3 dS m⁻¹ (S0). A partir da mesma água foi preparada a solução salina de CE 4,0 dS.m⁻¹ (S1) com os sais NaCl, CaCl₂.2H₂O, MgCl₂.6H₂O, na proporção de 7:2:1, sendo essa proporção predominantemente encontrada nas principais fontes de água encontradas no Nordeste do brasileiro (MEDEIROS,1992). Foi utilizado a relação entre CE e sua concentração molar (mmolc L⁻¹ = CE × 10) (RHOADES *et al.*, 2000).

O bioestimulante FH Attivus[®] é comercializado pela empresa Fertilizantes Heringer e é composto por macro, micronutrientes e compostos naturais (Tabela 2). O produto é encontrado na formulação em pó, sendo o produto dissolvido em água destilada para

posterior aplicação. A dose 250 g/ha foi utilizada seguindo a recomendação do fabricante para a cultura da soja.

Tabela 2 – Composição do Bioestimulante FH Attivus®

Nutrientes (%)									Compostos naturais (%)	
N	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Ácidos fúlvicos
2	1	3,6	0,1	0,04	0,05	0,1	0,1	0,2	64	6,5

Fonte: Fertilizantes Heringer

O uso da irrigação com S1 iniciou aos 15 DAS e permaneceu até o fim do experimento. Aplicação do bioestimulante se deu por pulverização de toda área foliar com o auxílio de um pulverizador manual de compressão com capacidade para 1,5 L. A pulverização ocorreu aos 21 DAS, correspondendo ao estágio de desenvolvimento V3 (FEHR; CAVINESS, 1977). O tratamento controle foi pulverizado com água destilada.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 2x2, com o primeiro fator correspondendo a aplicação do bioestimulante (ausência ou presença), e o segundo fator, ao estresse salino (S0 = 0,3 dS m⁻¹ e S1 = 4,0 dS m⁻¹), com 5 repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

2.3 Variáveis analisadas

2.3.1 Teor relativo de água

O teor relativo de água (TRA) foi determinado segundo a metodologia descrita por Barrs e Weatherley (1962). Foram retiradas das primeiras folhas completamente a partir da base, expandidas 10 discos de 1,0 cm de diâmetro. Os discos foram pesados para obtenção da massa fresca (MF), e em seguida imersos em água destilada por 3 horas para obtenção da massa túrgida (MT). Posteriormente, os discos foram colocados em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C até massa constante, e em seguida pesados para a obtenção da massa seca (MS).

O TRA foi calculado pela fórmula: $TRA (\%) = [(MF-MS) / (MT-MS)] \times 100$.

2.3.2 Trocas gasosas

A taxa de assimilação líquida de CO₂ (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a razão interna e externa de CO₂ (razão C_i/C_a) foram realizadas em folhas completamente expandidas com um analisador de gases no infravermelho (IRGA, Li-Cor - Li6400 XT) com concentração de CO₂ na câmara a 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e 1500 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A eficiência instantânea do uso da água (EUA) foi calculada pela razão A/E , e a eficiência de carboxilação (EiC) pela razão A/C_i .

2.3.3 Fluorescência da clorofila a

A fluorescência da clorofila a foi mensurada após aclimatação das plantas ao escuro por 30 minutos. A avaliação da F_m (fluorescência máxima no escuro), F_o (fluorescência mínima no escuro), F_m' (fluorescência máxima no claro), F_s (fluorescência em estado estacionário) e F_o' (fluorescência mínima clara após iluminação no vermelho distante).

Em seguida, os valores foram utilizados para estimar o rendimento quântico efetivo do PSII (ΦPSII), rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m), fotoquímico rendimento quântico da dissipação de energia regulada do PSII. Também foi obtido o coeficiente de dissipação fotoquímico (q_P) e não fotoquímico (NQP) a ETR (taxa de transporte de elétrons).

2.3.4 Pigmentos fotossintéticos

A quantificação dos pigmentos clorofila a, b, total e carotenoides foi realizada segundo a metodologia de Wellburn (1994). As leituras de absorvância foram feitas em espectrofotômetro a 665, 649 e 480 nm. Os conteúdos de clorofila a ($Chl a$), b ($Chl b$) e total ($Chl T$) e carotenoides (Crt) foi obtido através das fórmulas: $Chl a = (12,47 \times A_{665}) - (3,62 \times A_{649})$; $Chl b = (25,06 \times A_{649}) - (6,5 \times A_{665})$; $Chl T = (7,15 \times A_{665}) + (18,71 \times A_{649})$ e $Crt = (1000 \times A_{480} - 1,29 \times Ca - 53,78 \times Clb)/220$. Os teores de clorofilas e de carotenoides foram expressos em $\text{mg g}^{-1} \text{MS}$.

2.3.5 Solutos inorgânicos

A partir do tecido foliar da soja o conteúdo de Na⁺(Na⁺F) e K⁺ (K⁺F) foi realizado por fotometria de chama, segundo EWING, G.W.(1972) e SARRUGE, J.R.; HAAG (1974)

através o fotômetro de chama Micronal, modelo B462 (São Paulo, SP, Brasil). Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol}^{-1}\text{MS}$.

2.3.6 Vazamento de eletrólitos e Malondialdeído

A análise de vazamento de eletrólitos (VE) foi determinada foi determinado conforme metodologia descrita por Singh et al., (2007), e estimado pela equação:

$$\text{VE (\%)} = \text{CE}_1/\text{CE}_2 \times 100$$

A peroxidação dos lipídios foi aferida através da quantificação dos teores de malondialdeído (MDA), seguindo a metodologia desenvolvida por Buege e Aust (1978), por meio de leituras de absorvância realizadas nos comprimentos de onda de 535 nm (específica) e 600 nm (não-específica). O conteúdo de malondialdeído foi estimado pela subtração das leituras não-específicas das específicas e utilizando o coeficiente de extinção molar do MDA ($\epsilon = 155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$), sendo os resultados expressos em $\text{mmol g}^{-1}\text{MF}$.

2.3.7 Enzimas antioxidantes

A atividade da ascorbato peroxidase (APX; EC 1.11.1.11) seguiu a metodologia de Nakano e Asada (1981), na absorvância de 290 nm. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína, usando o coeficiente molar do ascorbato ($\epsilon = 2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). Para a determinação da catalase (CAT, EC 1.11.1.6) foi empregada a metodologia descrita por Havir e Mchale, (1987) na absorvância de 240 nm. Os cálculos foram obtidos utilizando o coeficiente de extinção molar do H_2O_2 ($\epsilon = 36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), sendo a atividade da enzima expressa em $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de proteína. A atividade da superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) foi de acordo com a metodologia descrita por Beauchamp e Fridovich (1971). A leituras das amostras foram em espectrofotômetro na absorção de 560 nm, com o resultado expresso em UA (unidade de atividade de enzima) mg^{-1} proteína.

2.3.8 Prolina livre

A determinação do conteúdo de prolina foi determinado de acordo com a metodologia de Bates et al. (1973). A fase cromófora foi lida a 520 nm usando tolueno como

referência. A concentração de prolina foi calculada usando uma curva de calibração padrão e os resultados são expressos em mmol g^{-1} MS.

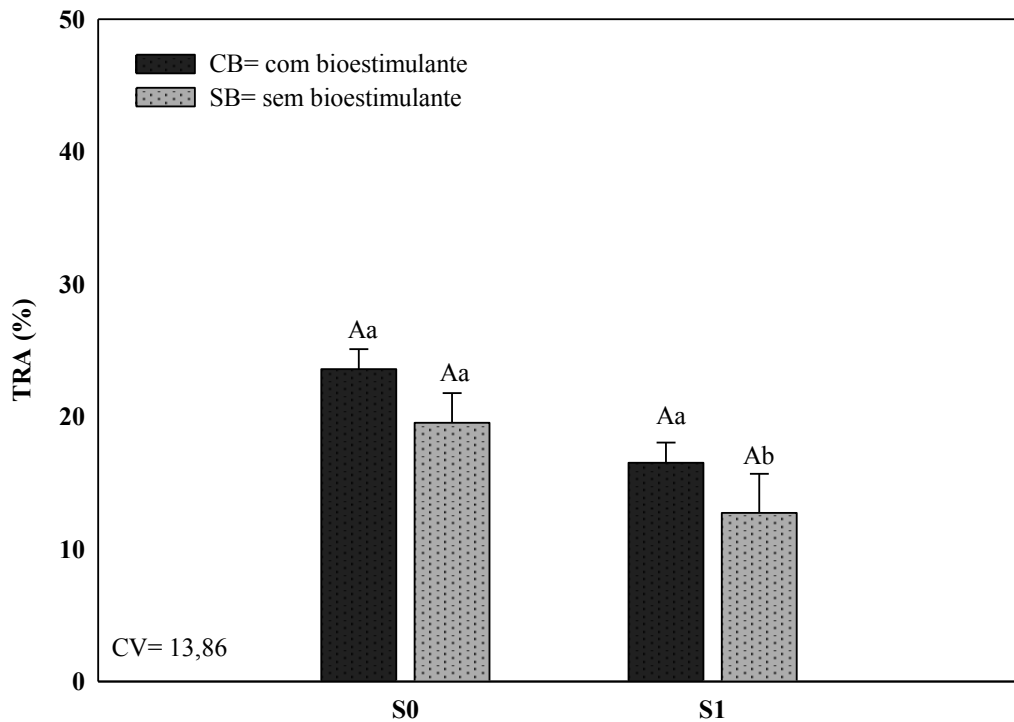
2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste Tukey com nível de significância de 5%. Para a análise estatística foi utilizado o programa R, e para confecção dos gráficos o Sigmaplot (versão 11.0).

3 RESULTADOS

O teor relativo de água (TRA) não se mostrou distinto na soja irrigada com água de menor condutividade elétrica (S0= 0,3 dS.m⁻¹). Em comparação a de maior condutividade (S1= 4,0 dS. m⁻¹), correspondendo a um resultado 37,60% maior em S0 (Figura 3). Em relação a aplicação do bioestimulante na soja, o uso do produto mostrou um aumento no teor relativo de água de 14,89% em comparação às plantas não tratadas com o bioestimulante (Figura 3).

Figura 3: Teor relativo de água (TRA) em plantas de soja submetida ao estresse salino (A) e aplicação de bioestimulante no V3 (B).

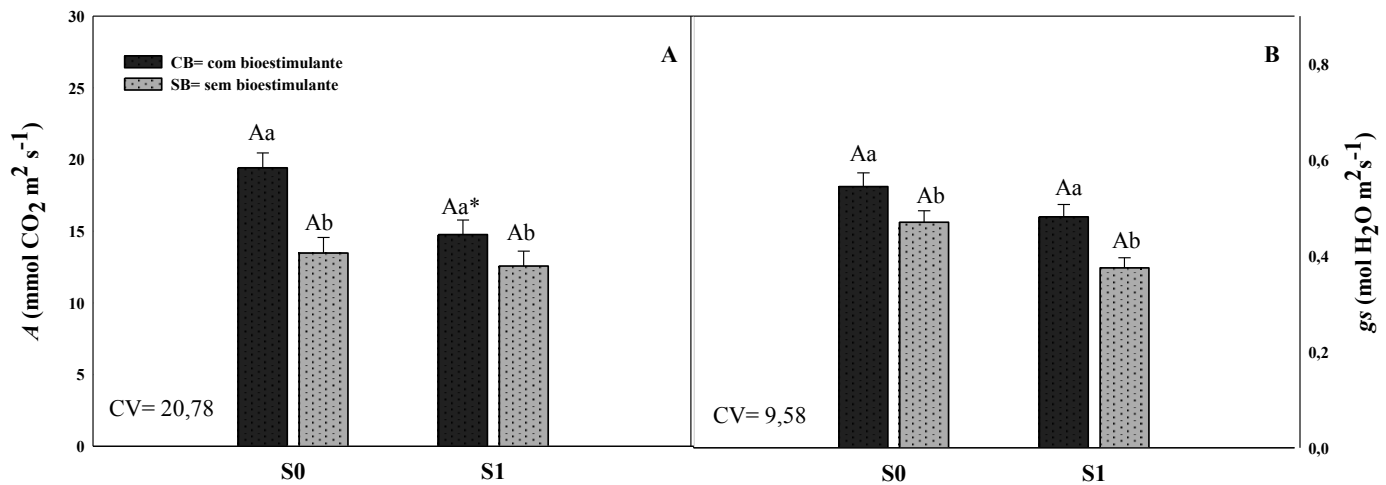


Tratamento com bioestimulante (CB) e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹ Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação (Tukey $p < 0,05$) (n=5).

Em S0 taxa fotossintética (A) foi maior em plantas de S0 tratadas com bioestimulante (Figura 4A). A ausência do bioestimulante resultou em valores de A 44,09% menores que daquelas plantas bioestimuladas So estresse salino (S1) foi obtido uma uma redução de 17,51% na assimilação de CO₂ (Figura 4A).

A condutância estomática mostrou resultados inferiores em S0 e S1 na ausência do bioestimulante (Figura 4B). Sob estresse salino, a g_s foi 28,37% menor na soja não tratada com o bioestimulante.

Figura 4: Taxa fotossintética – A (A) e condutância estomática – g_s (B) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3.

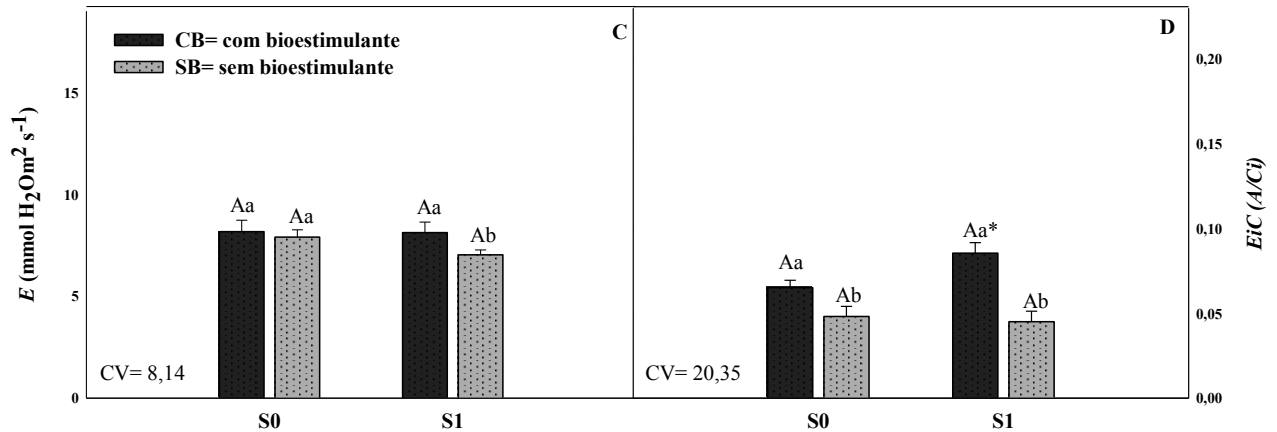


Tratamento com bioestimulante (CB) e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 ($CE = 0,3 \text{ dS.m}^{-1}$) e com estresse S1 ($CE = 4,0 \text{ dS.m}^{-1}$). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação (Tukey $p < 0,05$) * interação significativa ($n=5$).

A transpiração não apresentou diferença em S0 (Figura 4C). Sob estresse salino, os resultados se mostraram superiores com o uso do bioestimulante. Foi observado que a taxas transpiratórias sob estresse salino e sem o produto foram 28,37% menores que em S1 com bioestimulante (Figura 4C).

Os resultados mostraram interação entre o estresse salino e o bioestimulante na eficiência de carboxilação (A/C_i). O maior valor de E_iC (A/C_i) obtido em condições de foi superior 51,76% a S1 sem bioestimulante. Em S0, a eficiência de carboxilação foi maior em plantas de soja tratadas com o produto (Figura 4D).

Figura 4: Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e do estresse salino sobre Transpiração – E (C) e eficiência de carboxilação – Eic (A/Ci) (D) em plantas de soja.



Tratamento com bioestimulante (CB) e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 ($CE = 0,3$ $dS.m^{-1}$) e com estresse S1 ($CE = 4,0$ $dS.m^{-1}$). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação (Tukey $p < 0,05$) * interação significativa ($n=5$).

Os resultados da eficiência no uso da água (EUA) e a razão Ci/Ca não apresentaram diferença significativa.

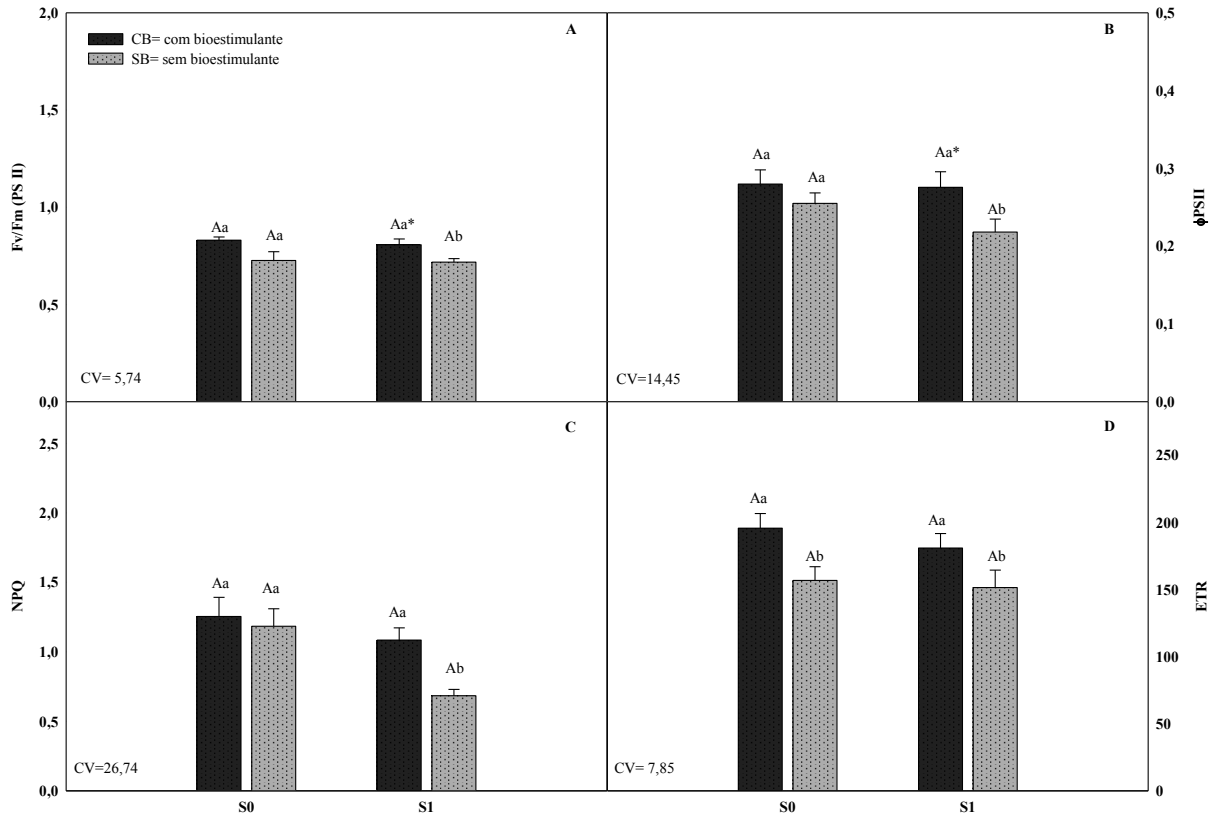
Não houve diferença na eficiência fotoquímica máxima ($Fv/Fm=PSII$) em S0. O rendimento quântico do PSII foi maior em plantas de S0 com o uso do bioestimulante (Figura 5A). $\Phi PSII$ não diferiu em S0 foi 8,60% maior com a pulverização do bioestimulante. Houve interação em S1 com o bioestimulante (Figura 5B). Sob estresse salino, o uso do produto ocasionou na no aumento de 31,88% $\Phi PSII$

Em S0 os resultados de NPQ não diferiram entre si (Figura 5C). Sob estresse salino, a aplicação do bioestimulante promoveu aumento de 36,66% no NPQ de plantas de soja em comparação com àquelas não tratadas. Em relação a taxa de transporte de elétrons (ETR) (Figura 5D), a ausência do bioestimulante em plantas de S0 e S1 apresentou resultado de 24,83% e 19,44% inferior, respectivamente. Mesmo em S1, apesar da redução causado pelo estresse salino. O bioestimulante proporcionou em ETR um aumento de 16,28%.

O resultado de qP não diferiu significamente.

Figura 5: Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e estresse salino sobre a razão Fv/Fm - PS II (A), Rendimento quântico efetivo do fotossistema II - $\Phi PSII$ (B), coeficiente de

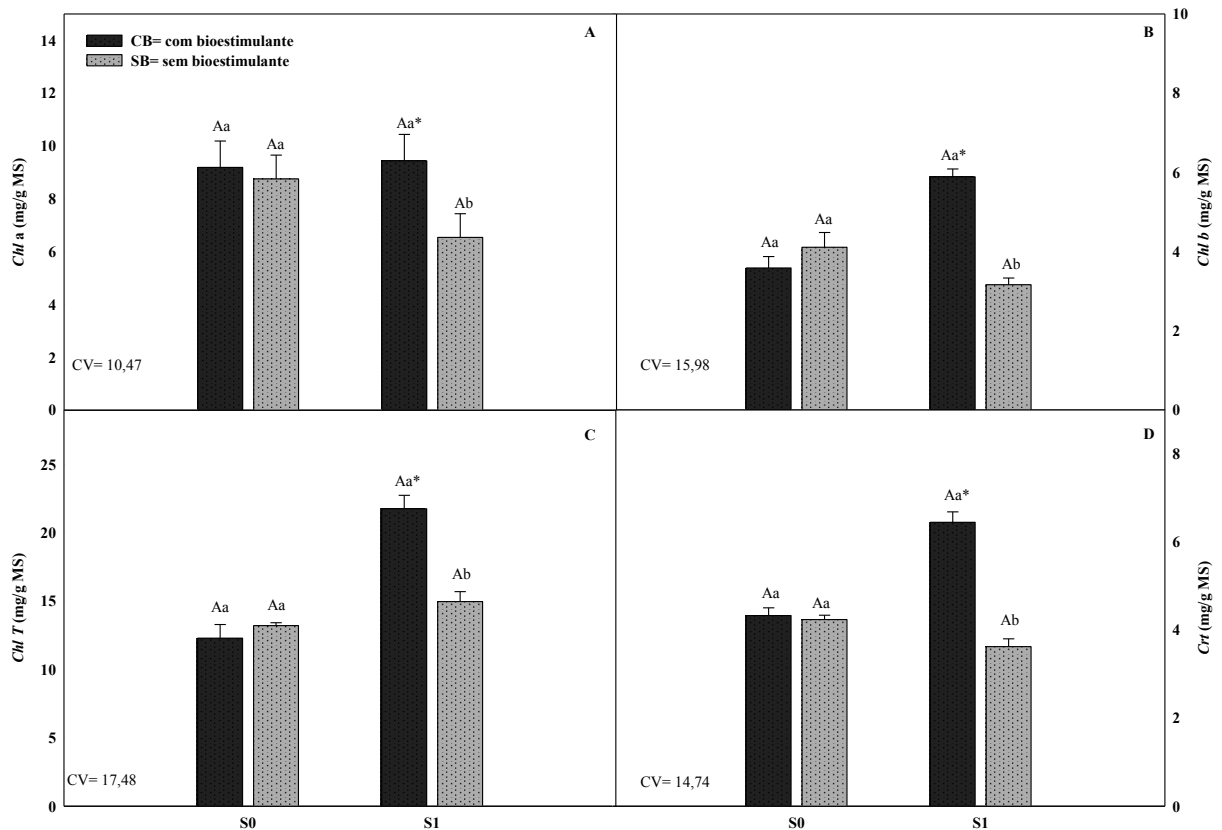
dissipação não fotoquímica (C) e na taxa de transporte de elétrons – ETR (D) em plantas de soja.



Tratamento com bioestimulante (CB) e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 ($CE = 0,3 \text{ dS.m}^{-1}$) e com estresse S1 ($CE = 4,0 \text{ dS.m}^{-1}$). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação (Tukey $p < 0,05$) * interação significativa ($n=5$).

Em relação aos pigmentos fotossintéticos e carotenoides, os resultados foram maiores em S0 e S1 em plantas tratadas com o bioestimulante. Não houve diferença significativa nos teores de clorofila *a* em S0 (Figura 6A). Em S1, houve interação entre o estresse salino e o bioestimulante, sendo observado que as tratadas apresentaram teores de Chl *a* 30,75% superior a sem bioestimulante (Figura 6A). O Comportamento semelhante foi observado para os demais pigmentos aos pigmentos clorofila *b* (Figura 6B), total (figura 6C) e carotenoides (Figura 6D).

Figura 6: Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e estresse salino sobre conteúdo de clorofila *a* – Chl *a* (A), clorofila *b* – Chl *b* (B), clorofila total – Chl *T* (C) e carotenoides – Crt (D) em plantas de soja.



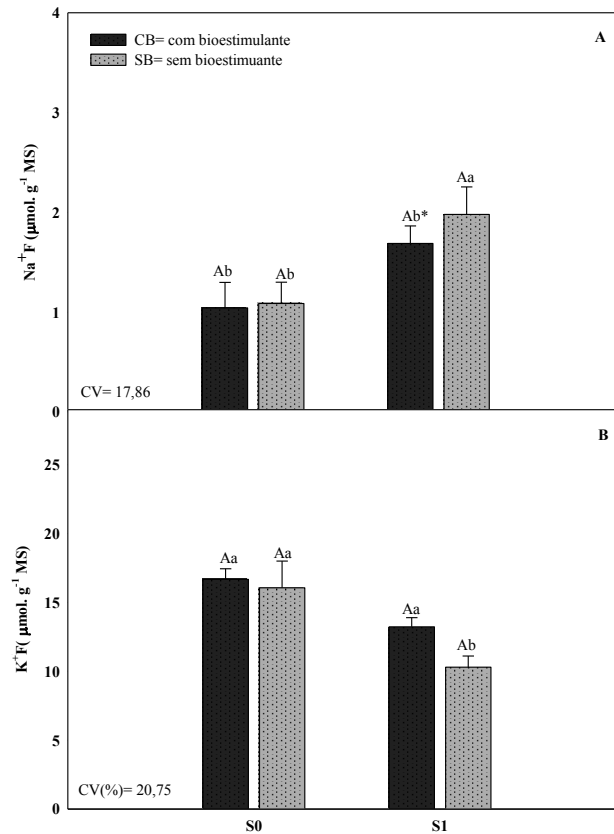
Tratamento com bioestimulante (CB) e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 ($CE = 0,3 \text{ dS.m}^{-1}$) e com estresse S1 ($CE = 4,0 \text{ dS.m}^{-1}$). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação (Tukey $p < 0,05$) * interação significativa ($n=5$).

Os teores de clorofila *b* e *total* não apresentaram diferença em S0 (Figura 5A, B e C, respectivamente); enquanto que em S1 houve interação com o bioestimulante. Os teores de *Chl b*, em S1 com o uso do bioestimulante foram 46,25% maiores que em plantas de soja sob mesmas condições de estresse, mas na ausência do produto (Figura 5B). Em S1 com o bioestimulante, os teores de *Chl T* foram 31,15% maiores que S1 (SB) (Figura 5C). Com o uso do bioestimulante em condições estressantes o conteúdo de *Crt* foi 51,40% maior que na soja não tratada com o produto.

Não houve diferença estatística entre os fatores e o índice SPAD.

A concentração de foliar no tecido foliar (Na^+F) não apresentou diferença em S0 (Figura 7A). Sob estresse salino, houve acúmulo de 24,12% em plantas sem o bioestimulante. (Figura 7A). Os maiores teores de K^+ foliar (K^+F) foram obtidos em plantas de S0 (Figura 7B). Enquanto que, o conteúdo foi observado em plantas estressadas sem o bioestimulante (Figura 7B).

Figura 7: Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e do estresse salino sobre os teores foliares do sódio (Na^+F) (A) e de potássio (K^+F) em plantas de soja.

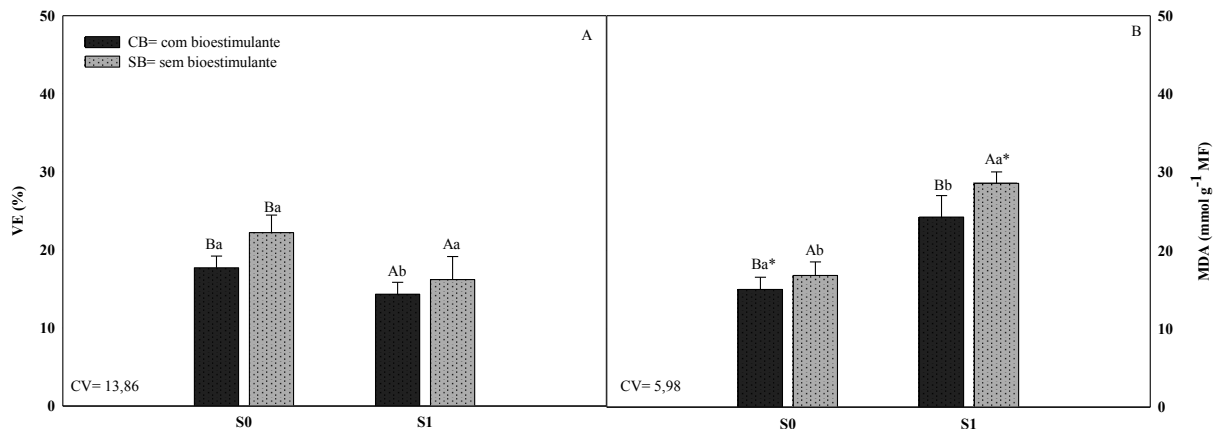


Tratamento com bioestimulante (CB) e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação (Tukey p < 0,05)

No vazamento de eletrólitos em condição salina de S1 (4,0 dS.m⁻¹) mostrou resultado 28,30% maior em comparação a condição de S0 (Figura 8A). Quando se observou o uso do bioestimulante verificou-se que a aplicação do produto propiciou resultado superior de 12,45% (Figura 8A).

A ausência da aplicação do produto resultou em 13,44% de aumento de malonaldeído (Figura 8B). Apesar dos efeitos danosos do estresse salino, em S1 (CB) os teores de MDA foram 15,11% inferior ao tratamento sob condições estressantes, mas sem o produto.

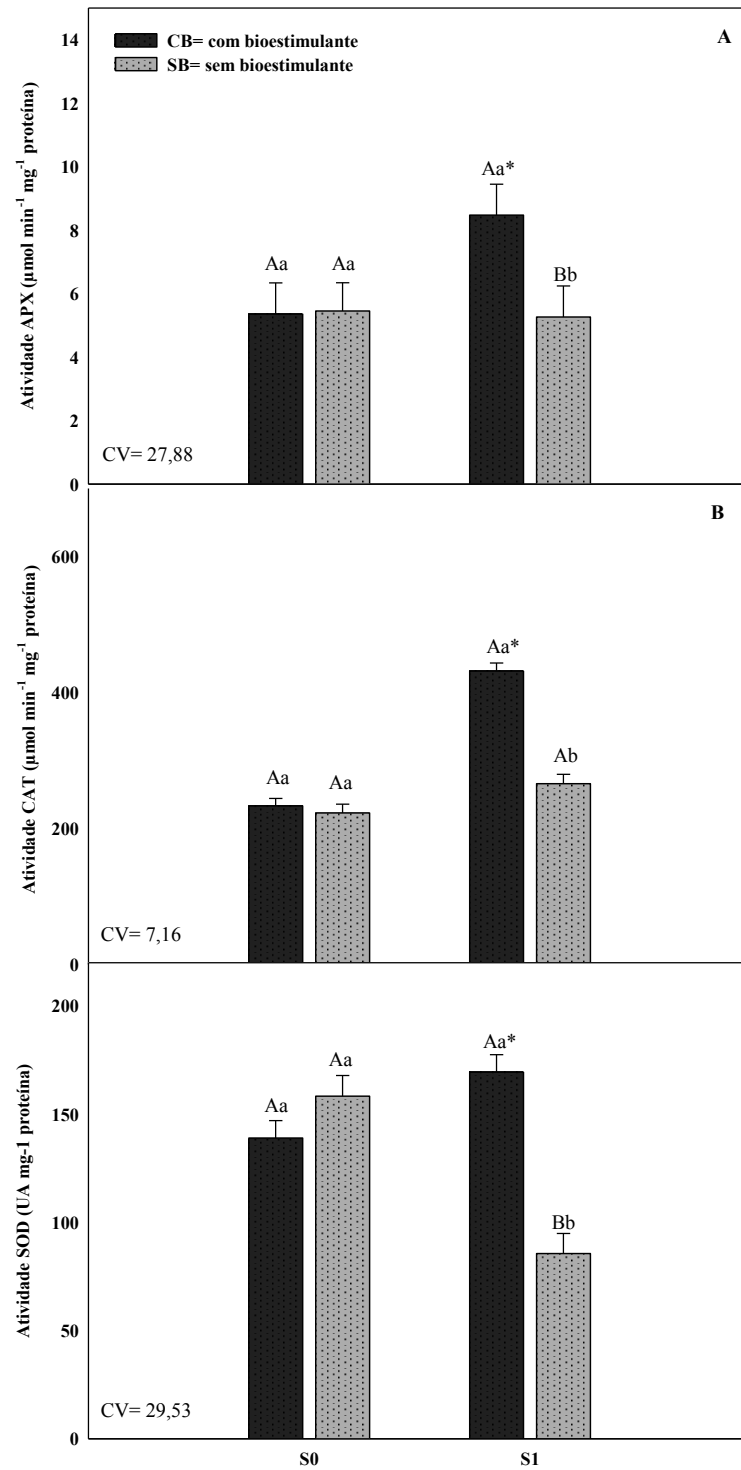
Figura 8: Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e estresse salino no vazamento de eletrólitos (A) e MDA (C).



Tratamento com bioestimulante (CB) e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 ($CE = 0,3 \text{ dS.m}^{-1}$) e com estresse S1 ($CE = 4,0 \text{ dS.m}^{-1}$). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação (Tukey $p < 0,05$) * interação significativa ($n=5$).

Na ausência de salinidade (S0), a palicação do bioestimulante não resultou em alterações significativas nas atividades das enzimas APX, SOD e CAT, respectivamente (Figura 9A, 9B e 9C). Houve interação significativa entre o bioestimulante e estresse salino ($p < 0,05$). Sob condições estressantes (S1), o uso do bioestimulante promoveu aumento de 37,89%, 49,47% e 38,40% nas atividades das enzimas APX, SOD e CAT, respectivamente. A diferença entre o uso do bioestimulante em plantas de soja em condições de estresse foi mais expressiva quando se observa a atividade da SOD, uma vez que, em S1 (SB) o resultado foi 97,92% inferior àquelas tratadas com bioestimulante (Figura 9B).

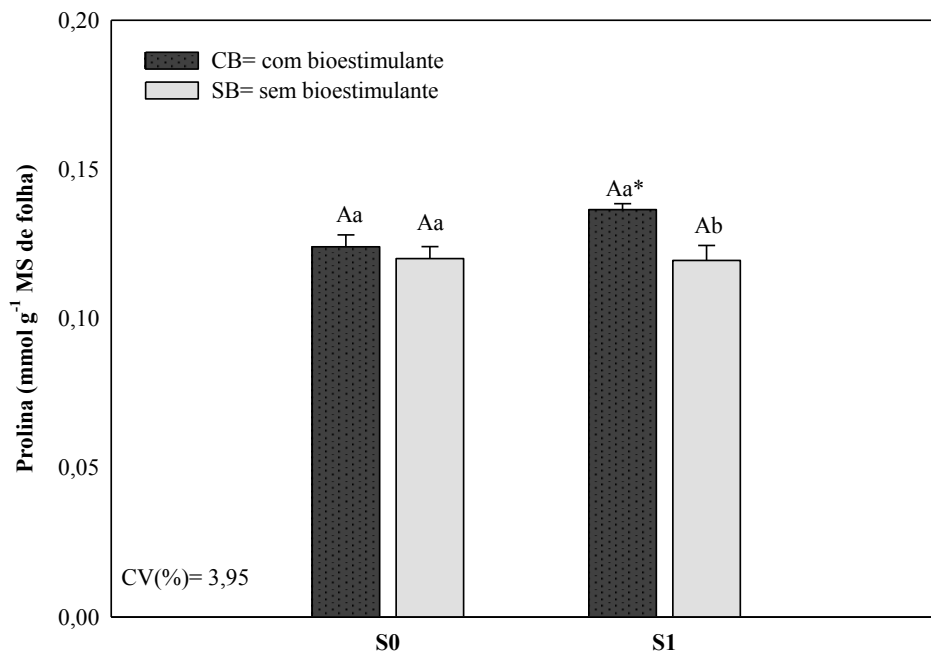
Figura 9: Atividade das enzimas APX (A), CAT (B) e SOD (C) da aplicação bioestimulante no V3 sob estresse salino na soja.



Tratamento com bioestimulante (CB) e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 ($CE = 0,3 \text{ dS.m}^{-1}$) e com estresse S1 ($CE = 4,0 \text{ dS.m}^{-1}$). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação (Tukey $p < 0,05$) * interação significativa ($n=5$).

O maior teor de prolina em S0 e S1 foram obtidos em plantas tratadas com bioestimulante (Figura 10). Os resultados obtidos em S1 mostraram interação entre os fatores. Sob salinidade, o conteúdo de prolina foi maior 7,58% na soja não tratadas com o bioestimulante.

Figura 10: Efeito da aplicação de bioestimulante no V3 e estresse salino sobre conteúdo de prolina em plantas de soja.



Tratamento com bioestimulante (CB) e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação (Tukey $p < 0,05$) * interação significativa (n=5).

4 DISCUSSÃO

A maioria das plantas cultivadas que são submetidas a ambientes salinos tem o seu fluxo de água afetado devido a influência de íons como Na^+ e Cl^- no potencial hídrico do solo (MUNNS; TESTER, 2008; ATHAR *et al.*, 2022). O acúmulo desses íons afetam a absorção de água, o turgor celular, e em grandes quantidades causam a toxicidade iônica (LUPO *et al.*, 2023).

Para se adaptar aos ambientes salinos, as plantas apresentam mecanismos de regulação no transporte, distribuição e armazenamento de íons (NAEEM *et al.*, 2020). No entanto, a competição por sítios de absorção reduzem o influxo de K^+ na presença excessiva de Na^+ (WU *et al.*, 2022). De fato, nos resultados obtidos mostraram que o conteúdo de K^+ foi menor em condições de salinidade, sendo mais ressaltado no tratamento sem o bioestimulante (Figura 6B).

A relação inconstante desses cátions provocam o desequilíbrio nutricional nas plantas (COELHO *et al.*, 2017). O acúmulo de íons na zona radicular influenciam na absorção e no conteúdo interno de água nas plantas (SINGH *et al.*, 2015; ASTANEH *et al.*, 2018), como observado por (KARTHIK *et al.*, 2019) na soja sob estresse salino.

Apesar da interferência dos sais no teor relativo de água, o uso do bioestimulante em condições estressantes atuou na manutenção do conteúdo e fluxo de água na planta. Os resultados corroboram com pesquisas realizadas com bioestimulante em plantas de feijão comum submetido ao estresse salino (KUTLU; GULMEZOGLU, 2023).

As alterações que ocorrem sob estresse salino afetam o crescimento das plantas devido ao comprometimento da produção de biomassa dependente da fotossíntese líquida (Munns, 2005). A diminuição na fotossíntese podem ocorrer por dois mecanismos principais: (1) difusão restrita (fluxo) de CO_2 na folha, causada por reduções na condutância estomática e interna (g_s e g_i , respectivamente), e (2) inibição metabólica potencial para fotossíntese (He *et al.*, 2014).

O grau de abertura estomática influencia diretamente no influxo de CO_2 e na transpiração (ACOSTA *et al.*, 2015). Foi observado nos resultados obtidos que apesar do estresse salino provocar a redução na condutância, estomática e transpiração, foi perceptível como o uso do bioestimulante promoveu positivamente nessas variáveis.

A redução de componentes de transporte de elétrons, inibição de enzimas e a degradação de coletores de luz, como os pigmentos que atuam na conversão de energia luminosa para a energia química determinantes no processo fotossintético (KILLI;

HAWORTH, 2017). Todavia, a influência de sais estimulam a atividade de enzimas que degradam e inibem a biossíntese de clorofila, resultando na deformação de cloroplastos e interrupção de atividades metabólicas (NOCTOR; FOYER, 2016).

Em contrapartida, em plantas de soja sob estresse salino, foi perceptível a ação do bioestimulante em promover a maior biossíntese de clorofila *a*, *b* e *total*, que podem estar também relacionados com o maior desempenho fotossintético (Figuras 2A e 5), visto que a maior biossíntese desses compostos refletem na maior absorção de luz para o processo de fotossíntese (KILLI; HAWORTH, 2017).

Os carotenoides são pigmentos acessórios que possuem capacidade fotoprotetora e antioxidante (LIU *et al.*, 2015). A maior produção de carotenoides em condições de estresse desencadeiam o acúmulo de compostos antioxidantes, e induzem os sistemas enzimáticos envolvidos na defesa do estresse oxidativo promovido pelas espécies reativas de oxigênio (EROS) (CRISTOFANO *et al.*, 2021). O conteúdo elevado desse pigmento na soja tratada com o bioestimulante mesmo em condições de estresse salino pode-nos inferior o uso do bioestimulante em condições estressantes podem induzir a produção desses pigmentos, como o observado por El-Nakhel *et al.* com bioestimulante vegetal no alface (2023).

Em estresses abióticos, como o salino, as plantas tem o seu metabolismo afetado direta ou indiretamente, resultando em muitas vezes nas alterações do rendimento da fluorescência da clorofila (KUMAR *et al.*, 2014). A fluorescência da clorofila *a* é uma ferramenta importante para avaliar respostas fisiológicas em plantas (KHATRI *et al.*, 2022).

Os parâmetros de fluorescência, como a taxa de transporte de elétrons, (ETR) a eficiência fotoquímica máxima do PS II (F_v/F_m), coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ) e eficiência fotoquímica efetiva (Φ_{PSII}) (ZAHRA *et al.*, 2022), e compreender essas variáveis são necessárias para a compreensão da transferência de energia para os centros de reação do FS II (GOMES DO Ó *et al.*, 2021).

Outro indicador da fluorescência, é o NPQ (extinção não fotoquímica), indica possíveis danos efeitos inibitórios relacionado aos pigmentos (KUMAR *et al.*, 2010)

Em outras medições de F_v/F_m é mais um indicador robusto de estresse fotossintético (LI *et al.* 2010). Em estudo relacionados com algas (Han *et al.*, 2008) observou redução considerando condições de estresse ambiental; e Φ_{PSII} , mede a eficiência da fotoquímica do PSII, é considerado um dos parâmetros mais úteis que revela o estado fisiológico (GENTY *et al.*, 1989; KUMAR *et al.*, 2014). Dentre esses parâmetros avaliados no presente estudo foi então observado que mesmo na soja submetida ao estresse salino, o tratamento de S1 com bioestimulante mostrou resultados positivos.

Além dos estresse primário do estresse salino (osmótico e iônico), as plantas passam pelo estresse secundário ou oxidativo (ACOSTA *et al.*, 2017). Dentre as defesas presentes ao estresse oxidativo, o sistema de defesa enzimático, como as enzimas APX, CAT, SOD atuam como desintoxicação celular (FU; YANG, 2023).

Em se tratando ao sistema de defesa antioxidativo enzimático, foi observado que sob condições de salinidade houve maior atividades das enzimas APX, CAT, SOD, em contraste ao obtido em plantas não tratadas com o bioestimulante. Os resultados foram semelhantes ao obtidos no sistema de defesa não enzimático. Diferentemente do obtido com o uso do bioestimulante.

Outro parâmetro avaliado sobre os danos de membrana é o vazamento de eletrólitos O conteúdo de prolina também foi superior em plantas estressadas e tratadas com bioestimulante. De fato, em experimento realizados com bioestimulante mostrando aumento de prolina em *Arabidopsis thaliana* (DRIRA *et al.*, 2021) e no feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) (SITOHY *et al.*, 2020) sob influência do estresse salino.

Um subproduto do estresse oxidativo, secundário ao estresse salino, é o aumento da produção e acúmulo de EROs que culminará na peroxidação de lipídeos de membrana, representado pelo aumento nos teores de malondialdeído (MDA), é a permeabilidade da membrana (SEYMEN *et al.*, 2023; TAYYAB *et al.*, 2023). 2017; HERRERRA *et al.*, 2022).

Outro parâmetro avaliado sobre os danos de membrana é o vazamento de eletrólitos, relacionado a ruptura e menor seletividade da membrana (DRIRA *et al.*, 2021). Com o aumento de MDA provocado pela severidade do estresse oxidativo são observados aumento do vazamento de eletrólitos (RADY *et al.*, 2023), que também se correlaciona com o efluxo de K⁺ (DEMIDCHICK *et al.*, 2014). O uso do bioestimulante também reduziu o vazamento de eletrólitos sob estresse salino na soja.

Nos resultados obtidos foi encontrado que mesmo em condições estressantes proporcionados pela salinidade, mas com o bioestimulante o MDA foi inferior em S1 com bioestimulante. Como mencionado, em adição ao sistema enzimático, a defesa não-enzimática compreende compostos como como osmólitos compatíveis e prolina (KAUSHAL *et al.*, 2011). O aumento de prolina também foi obtido em tratamento com estresse salino também foi obtido com bioestimulante à base de proteínas hidrolizadas na abóbora por Sitohy *et al.* (2020).

5 CONCLUSÃO

1. O uso do bioestimulante à base de extrato de algas e de ácidos fúlvicos impulsionou o sistema de defesa antioxidante, enzimático e não enzimático da soja.
2. O aumento da atividade das enzimas APX, CAT e SOD, e também da produção de prolina e carotenoides, que contribuíram para mitigar os danos deletérios causados pelo estresse, promovendo a manutenção da homeostase em plantas de soja sob salinidade.
3. Com isso pode-se concluir que a aplicação do bioestimulante em estágios iniciais de desenvolvimento da soja condiciona e estabelece mecanismos de aclimação eficientes em ambientes sob influência da salinidade.

6 ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS E TOLERÂNCIA DA SOJA SUBMETIDA AO ESTRESSE SALINO INDUZIDOS PELA APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE

6.1 Introdução

Os desafios provocados pela atual emergência climática atual impõem a agricultura moderna diversos desafios para a alimentação da população mundial (CRISTOFANO *et al.*, 2021). São estimados que o aumento da população mundial e da demanda por alimentos demande de 25 a 70% superior ao que é atualmente produzido (HUNTER *et al.*, 2017). E uma vez que a demanda existe, o uso de fertilizantes, produtos químicos e água de irrigação com água de má qualidade provoquem a degradação da terra e a salinização do solo (MACHADO *et al.*, 2017).

A salinidade tem efeito prejudicial no desenvolvimento e crescimento das culturas, sendo um fator limitante da produtividade agrícola (ISLAM *et al.*, 2022). Os efeitos nocivos da salinidade nos vegetais podem variar de acordo com as condições climáticas, intensidade do estresse e fatores inerentes às plantas. (KRISHNAMURTHY *et al.*, 2016).

Em ambientes salinos, as plantas que apresentam mecanismos de tolerância desenvolvidos para resistir a elevadas concentrações de sais são classificadas como halófitas. Enquanto que, as glicófitas, como a soja, possuem menor nível de tolerância e têm o seu crescimento e desenvolvimento comprometidos sob salinidade (ACOSTA *et al.*, 2017).

Os componentes osmótico e iônico do estresse salino provocam uma série de desequilíbrios nos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. Devido ao excesso de solutos inorgânicos, o componente osmótico influencia negativamente nas relações hídricas das plantas; enquanto que, o componente iônico, caracterizado pelo excesso dos íons Na^+ e Cl^- , causa a toxicidade iônica (ABEED *et al.*, 2023). Além disso, ambos os componentes estimulam a formação excessiva das espécies reativas de oxigênio (EROs), dificultando a síntese de proteína, atividades enzimáticas e fotossíntese (MUNNS, 2005; PARIDA; DAS, 2005; SHABALA, 2013; AIT- EL-MOKHTAR *et al.*, 2019).

Como forma de relacionar os efeitos diretos da salinidade no crescimento dos vegetais, muitos autores utilizam índices de crescimento como, a taxa de crescimento relativo, razão de área foliar, área foliar específica e razões de massa caulinar, foliar e radicular (ALOF *et al.*, 1998; BENINCASA, 2003), uma vez que, o excesso de solutos reduz

o turgor celular e causa a diminuição de toda a parte aérea, altura das plantas e altera a partição de biomassa (DEINLEIN *et al.*, 2014).

Diante disso, para atenuar os efeitos danosos do estresse salino, as plantas apresentam mecanismos de tolerância à salinidade, como alterações morfológicas, além de modificações em processos fisiológicos e bioquímicos (AL-FARSI *et al.*, 2021). Dentre os principais mecanismos estão a compartimentação e/ou exclusão de íons, ajustamento osmótico e defesas antioxidantes enzimáticas, como a indução da enzima catalase e superóxido dismutase, e não enzimáticas, como osmólitos compatíveis e carotenoides (SHARMA *et al.*, 2012).

Mesmo com um complexo sistema de defesa, os vegetais continuam susceptíveis às condições estressantes do campo. Diante disso, o uso de bioestimulantes, atualmente se tornou uma alternativa emergente no condicionamento das plantas aos estresses abióticos (CALVO *et al.*, 2014; DO ROSÁRIO ROSA *et al.*, 2020).

Segundo a definição de Du jardin (2015) bioestimulante é qualquer substância ou microorganismo aplicado às plantas com o objetivo de aumentar a eficiência nutricional, a tolerância ao estresse abiótico e/ou características de qualidade da cultura, independentemente do seu teor de nutrientes. Como substâncias como bioestimulantes estão presentes, extratos de algas marinhas, proteínas hidrolizadas e substâncias húmicas (CALVO *et al.*, 2014).

Por meio da diversidade de produtos, os bioestimulantes possuem capacidade de promover o resulta no maior crescimento e produtividade das plantas devido a heterogeneidade de moléculas ativas, como peptídeos, polímeros de algas e estruturas moleculares que propiciam e e viabilizam a produção de fitohormônios, agentes antioxidantes e reguladores de crescimento de plantas através da modulação do metabolismo primário e secundário das plantas (MUSCOLO *et al.*, 2013; SHUKLA *et al.*, 2019).

No entanto, são poucos os estudos sobre a influência de bioestimulantes no crescimento e nos processos fisiológicos da soja sob estresse salino.

Tendo isso em vista, o objetivo do trabalho foi analisar como a aplicação de bioestimulante composto por extrato da alga *Ascophyllum nodosum* e ácidos fúlvicos influencia nos processos fisiológicos e conseqüentemente nos índices morfofisiológicos da soja submetida ao estresse salino.

6.2 Material e Métodos

6.2.1 Localização e caracterização da área experimental

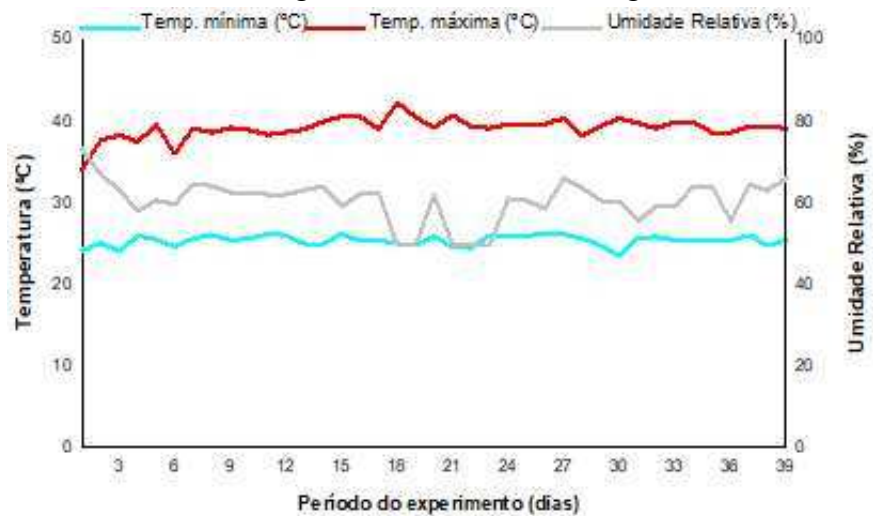
O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertence ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, no Campus do Pici, na cidade de Fortaleza – Ceará (Figura 1). Durante a condução do experimento, no período de outubro a novembro de 2022, os dados metereológicos foram acompanhados e estão apresentados na figura 2.

Figura 11: Casa de vegetação



Fonte: Autora (2022).

Figura 12: Dados metereológicos



Fonte: Autora (2022)

6.2.2 Material vegetal e condução experimental

Para a realização da semeadura as sementes de soja (MONSOY 8349 IPRO) foram fornecidas pela Fazenda Faedo, situado no município de Limoeiro do Norte (Ceará). A partir do solo coletado pela Fazenda Experimental Vale do Curu, pertencente à UFC, localizada no município de Pentecostes-CE na camada de 0-20 cm. Posteriormente o solo foi transportado à Universidade do Ceará (Campus do Pici). Com resultados de ensaios preliminares e da análise química, obteve-se que apesar dos atributos químicos serem favoráveis ao cultivo da soja, as características físicas dificultariam o desenvolvimento da raiz.

Assim, além do solo foi adicionado areia lavada para o melhor desenvolvimento radicular, na proporção de 1:1, de acordo com a densidade do solo. Em seguida, uma amostra da mistura (solo + areia lavada) foi levada ao Laboratório de solos/água da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para análise física e química (tabela 1).

Tabela 1 – Características físicas e químicas da mistura (solo + areia lavada).

pH	Ds	CE	MO	Ca	Mg	Na	K	H+Al	S	T	V	P	Cu	Fe	Mn	Zn
H ₂ O	g/cm ³	dS.m ⁻¹	g/kgcmol _c /kg.....						%mg/kg.....					
7,0	1,46	0,26	5,65	2,70	1,20	0,18	0,20	0,66	4,3	4,9	87	57	0,61	57,10	33,15	1,76

Fonte: Laboratório de solos/água SRH- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME.

Ds: densidade global; Ce: condutividade elétrica.

Após a análise do solo foram realizados adubação com N-P-K, segundo o Boletim Cerrados (2017), aplicado para a cultura da soja. Os vasos possuíam as dimensões: 24 cm de altura, 18 cm de diâmetro menor e 23 cm de diâmetro maior. Com 10 kg de solo em cada vaso, foram semeados 5 sementes de MONSOY 8349 IPRO com desbaste após 5 dias da semeadura, permanecendo uma planta em cada vaso.

Para a irrigação da soja, a água de menor condutividade (S₀=0,3 dS.m⁻¹) foi utilizada do sistema de abastecimento da Universidade Federal do Ceará. Com a mesma fonte de água foi empregada para a caracterização do estresse salino (S₁= 4,0 dS.m⁻¹) a partir do preparo de uma solução composta pelos sais: NaCl, CaCl₂.2H₂O, MgCl₂.6H₂O, na proporção de 7:2:1, sendo essa proporção predominantemente encontrada nas principais fontes de água utilizadas no nordeste do Brasil (MEDEIROS,1992). Foi utilizada a relação entre CEa e sua concentração molar (mmolc L⁻¹ = CE × 10) (RHOADES *et al.*, 2000).

O bioestimulante FH Attivus[®] utilizado no experimento é produzido e comercializado pela empresa Fertilizantes Heringer. O FH Attivus[®], de acordo com as informações disponibilizadas pela empresa, possui em sua composição macro e micronutrientes, além de compostos naturais como o extrato da alga *Ascophyllum nodosum* e ácidos fúlvicos (Tabela 2).

Como o produto é encontrado na formulação em pó foi necessário dissolvê-lo em água destilada. Para a cultura da soja, a dose do bioestimulante recomendada é 250 g/ha.

Em plantas submetidas ao estresse salino (15 DAS) foram pulverizadas em toda a parte aérea com o auxílio de um pulverizador manual de compressão com capacidade para 1,5 L. A pulverização foi realizada conforme o recomendado para a soja (estádio V3 e V3+R1), correspondendo aos 21 e 35 DAS. O estágio V3 corresponde ao desenvolvimento da segunda folha trifoliolada e o R1 caracteriza-se pela formação das flores (FEHR,; CAVINESS, 1977).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 2x2, com o primeiro fator correspondendo a aplicação do bioestimulante (ausência ou presença), e o segundo fator, ao estresse salino (S0=0,3 e S1= 4,0dS m⁻¹), com 5 repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

6.3 Variáveis analisadas

6.3.1 Parâmetros Biométricos

Os parâmetros biométricos analisados foram: altura, diâmetro do caule, comprimento radicular, área foliar, número de folhas e massa seca. A altura (ALT) e o comprimento radicular (CMR), foram mensurados com o auxílio de uma régua graduada, o diâmetro do caule (DC) através de um paquímetro digital, a partir da base, e o número de folhas (NF) foram contabilizados pelos trifólios completamente expandidos.

A área foliar (AF) foi determinada através de um integrador de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, 87 Nebraska, USA). A massa seca total (MST) foi a partir da somatória da massa seca das folhas (MSF), caule (MSC) e raiz (MSR), que foram separados e colocados em estufa a 65 °C, até peso constante. Em seguida cada material foi pesado em balança de precisão.

6.3.2 Índices morfofisiológicos

Os índices morfofisiológicos foram obtidos seguindo a metodologia de Benincasa (2003) aos 39 DAS. A área foliar específica (AFE) foi obtida pela razão entre AF/MSF (cm² g⁻¹). A razão parte aérea/raiz (R/PA) foi obtida através da divisão entre (MSPA /MSTR) e RAF= AF/MST (cm²/g⁻¹). As razões de massa foliar (RMF), caulinar (RMC) e radicular (RMR) foram obtidas pela razão entre:

$$\text{RMF} = (\text{MSF}/\text{MST})$$

$$\text{RMC} = (\text{MSC}/\text{MST})$$

$$\text{RMR} = (\text{MSR}/\text{MST}), \text{ em g.g}^{-1}.$$

O crescimento relativo (Rw), foi obtido a partir da fórmula:

$$\text{Rw} = \text{Ln}(\text{altura final}) - \text{Ln}(\text{altura inicial}) / (\text{n}^\circ \text{de dias})$$

MSPA= massa seca da parte aérea

MSTR= massa seca total da raiz

6.3.3 Potencial hídrico

O potencial hídrico foliar foi realizado aos 39 DAS, entre 05:00h e 06:00h em folhas do terceiro trifólio completamente expandidos, por meio de uma bomba de pressão do tipo Scholander (Scholander *et al.*, 1965).

6.3.4 Teor relativo de água

O teor relativo de água (TRA) foi determinado segundo a metodologia descrita por Barrs e Weatherley (1962). A partir de discos foliares foram obtidos a massa fresca (MF), túrgida (MT). Posteriormente, os discos foram colocados em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C até massa constante, e em seguida pesados para a obtenção da massa seca (MS).

Assim o teor relativo de água foi determinado pela seguinte fórmula:

$$\text{TRA} (\%) = [(MF-MS) / (MT-MS)] \times 100.$$

6.3.5 Pigmentos fotossintéticos

A quantificação de carotenoides e de da clorofila a, b, total foi determinada de acordo com a metodologia de Wellburn (1994). Foram realizadas leituras na absorvância de 665, 649 e 480 nm no espectrofotômetro. Os conteúdos de clorofila a (*Chl a*), b (*Chl b*) e total (*Chl T*) e carotenoides (*Crt*) foi obtido através das fórmulas:

$Chl\ a = (12,47 \times A665) - (3,62 \times A649)$; $Chl\ b = (25,06 \times A649) - (6,5 \times A665)$;

$Chl\ T = (7,15 \times A665) + (18,71 \times A649)$ e

$Crt = (1000 \times A480 - 1,29 \times Chl\ a - 53,78 \times Chl\ b)/220$.

Os teores de clorofilas e de carotenoides foram expressos em $mg\ g^{-1}\ MS$.

Os teores relativos de clorofila foram obtidos por meio do índice SPAD, empregando-se o clorofilômetro portátil SPAD-502 (Konica Minolta Corporation, Osaka, Japão). Esse índice foi obtido a partir da média de três leituras realizadas na base, no meio e na ponta de três folhas completamente expandidas das plantas de soja. Os teores de clorofila foram expressos em índice SPAD (valores adimensionais).

6.3.6 Trocas gasosas

A fotossíntese líquida (A , $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$), condutância estomática (g_s , $mol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$), transpiração (E , $mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$) e a razão interna e externa de CO_2 (razão C_i/C_a) foram realizadas nos trifólios completamente expandidas com um analisador de gases no infravermelho (IRGA, Li-Cor - Li6400 XT) com concentração de CO_2 na câmara a $400\ \mu mol\ mol^{-1}$ e $1500\ \mu mol\ photons\ m^{-2}\ s^{-1}$). A eficiência instantânea do uso da água (EUA) foi calculada pela razão A/E , e a eficiência de carboxilação pela razão A/C_i .

6.3.7 Fluorescência da clorofila a

A fluorescência da clorofila a foi mensurada após aclimação das plantas ao escuro por 30 minutos. A avaliação da F_m (fluorescência máxima no escuro), F_o (fluorescência mínima no escuro), F_m' (fluorescência máxima no claro), F_s (fluorescência em estado estacionário) e F_o' (fluorescência mínima clara após iluminação no vermelho distante).

Em seguida, os valores foram utilizados para estimar o rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{PSII}), rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m), fotoquímico rendimento quântico da dissipação de energia regulada do PSII. Também foi obtido o coeficiente de dissipação fotoquímico (qP) e não fotoquímico (NQP) a ETR (taxa de transporte de elétrons).

6.3.8 Solutos inorgânicos

O conteúdo de Na^+ e K^+ foliar foi realizado por fotometria de chama, segundo EWING, G.W(1972) e SARRUGE, J.R.; HAAG (1974) através o fotômetro de chama Micronal, modelo B462 (São Paulo, SP, Brasil). Em seguida foi calculado a razão Na^+/K^+ . Os resultados de sódio e potássio foram expressos em $\mu\text{mol}^{-1}\text{MS}$.

6.3.9 Danos de membrana

Para a verificação dos danos de membrana causados pelo estresse salino nas plantas de soja, foi utilizada a análise de vazamento de eletrólitos e peroxidação lipídica. O vazamento de eletrólitos (VE) foi determinado conforme metodologia descrita por Singh et al., (2007), e estimado pela equação:

$$\text{VE (\%)} = \text{CE}_1/\text{CE}_2 \times 100$$

A peroxidação dos lipídios foi aferida através da quantificação dos teores de malondialdeído (MDA), seguindo a metodologia desenvolvida por Buege e Aust (1978), por meio de leituras de absorvância realizadas nos comprimentos de onda de 535 nm (específica) e 600 nm (não-específica). O conteúdo de malondialdeído foi estimado pela subtração das leituras não-específicas das específicas e utilizando o coeficiente de extinção molar do MDA ($\epsilon = 155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$), sendo os resultados expressos em $\text{mmol g}^{-1}\text{MF}$.

6.3.10 Proteínas solúveis totais e enzimas antioxidantes

As proteínas solúveis totais foram determinadas de acordo com o método de Bradford (1976). A atividade da peroxidase do ascorbato (APX; EC 1.11.1.11) foi determinada seguindo metodologia descrita por Nakano e Asada (1981), com leituras no espectrofotômetro com absorvância em 290 nm. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína, usando o coeficiente molar do ascorbato ($\epsilon = 2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$).

A atividade da enzimas antioxidantes:catalase (CAT, EC 1.11.1.6) e superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) foi estimada pela metodologia de Havir e Mchale (1987) e Beauchamp e Fridovich (1971), respectivamente. Para a catalase os resultados foram obtidos utilizando o coeficiente de extinção molar do H_2O_2 ($\epsilon = 36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), sendo a atividade da enzima expressa em $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de proteína. A atividade da superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) foi obtida com leitura de absorvância em 560 nm e expressa em UA (unidade de atividade) mg^{-1} proteína.

6.3.11 Prolina livre

Para a determinação de prolina livre a metodologia adotada foi de Bates et al. (1973). Na fase cromófora foi realizado a leitura em 520 nm em numm espectofotometro, utilizando o tolueno como referência. Assim, a concentração se deu através da curva de calibração padrão. Os resultados foram expressos em mmol de prolina g⁻¹ MS.

6.4 Análise estatística e confecção de gráficos

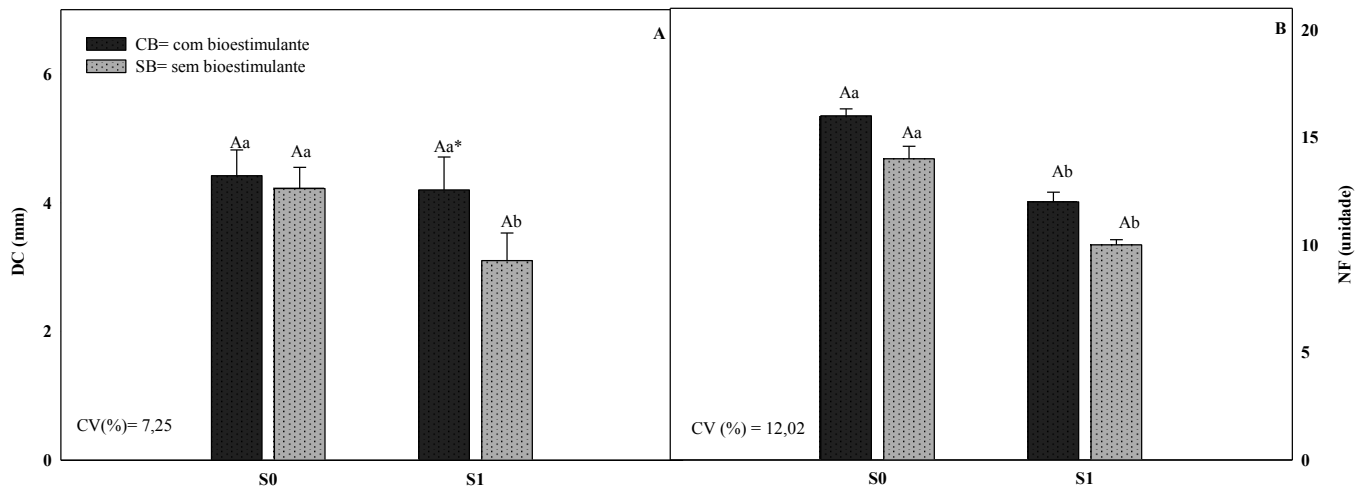
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste Tukey com nível de significância de 5%. Para a análise estatística foi utilizado o programa R, e para confecção dos gráficos o Sigmaplot (versão 11.0).

7 RESULTADOS

A altura não apresentou resultado significativo. No diâmetro do caule (DC) em condições de S0 ($0,3 \text{ dS.m}^{-1}$) não houve diferença entre os fatores (Figura 13A). Sob condições de estresse salino (S1), os resultados apresentaram interação significativa. Nas plantas de soja em S1 ($4,0 \text{ dS.m}^{-1}$), foi observado que houve um acréscimo de 26,19% no tratamento com aplicação do bioestimulante (CB), em comparação à condição na ausência do produto (SB). De modo geral, o diâmetro caulinar foi 16,47% maior em plantas que receberam aplicação do bioestimulante (Figura 13A).

O número de folhas (NF) foi influenciado negativamente pelo estresse salino. Em comparação a ausência do bioestimulante, o uso do produto em ocorreu um aumento de 28,57% no número de folhas (Figura 13B).

Figura 13: Diâmetro do caule - DC (A) e número de folhas – NF (B) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.

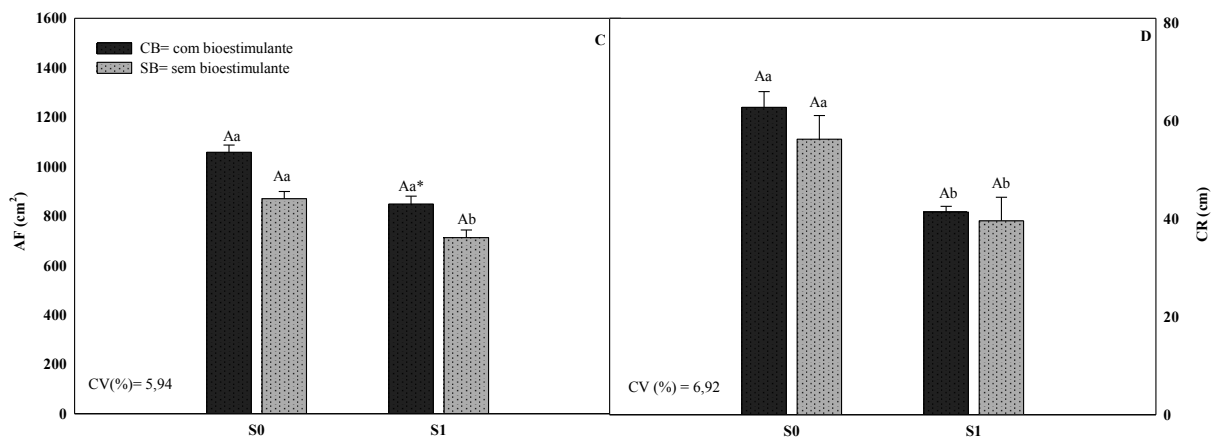


Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 ($CE = 0,3 \text{ dS.m}^{-1}$) e com estresse S1 ($CE = 4,0 \text{ dS.m}^{-1}$). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; * interação significativa (Tukey= $p < 0,05$) ($n=5$).

A área foliar (AF) foi 21,04% maior em plantas que receberam o bioestimulante (Figura 13C). A maior AF foi observado em S0 (CB), sendo essa 29,53% superior à de plantas do mesmo tratamento, mas sem o bioestimulante (SB). Em S1 os resultados apresentaram interação significativa. Em condições de estresse salino, a menor área foliar foi obtida em plantas que não receberam o bioestimulante. O resultado mostrou que nessa variável o efeito dos sais e a ausência do bioestimulante possivelmente provocaram uma redução de 12,95% em comparação aos resultados obtidos em S1 pulverizado com o produto (Figura 13C).

Na soja o maior comprimento da raiz (CR) foi obtido com o uso do bioestimulante (Figura 13D). Em S0, o comprimento radicular foi 20,25% maior em plantas CB. Em condições de estresse salino (S1) os resultados obtidos mostraram que apesar dos efeitos deletérios dos sais ao sistema radicular da soja, o CR foi 8,84% superior com o uso do bioestimulante (Figura 13D).

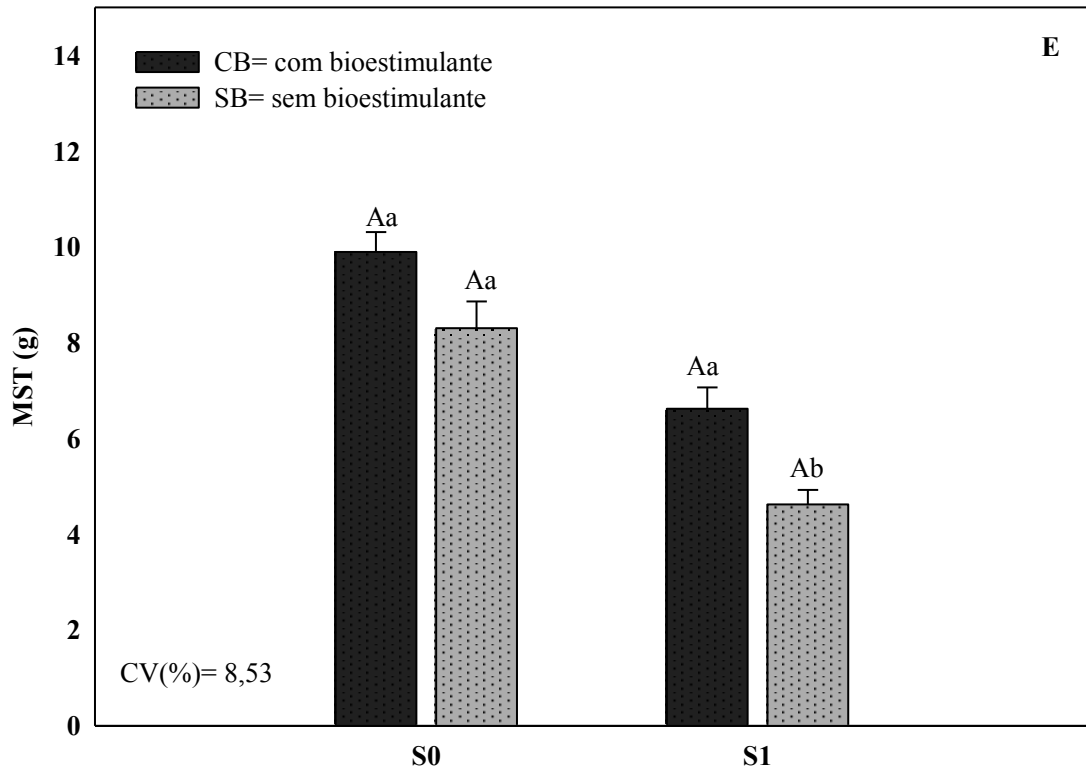
Figura 13: área foliar – AF (C), comprimento da raiz – CR (D) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.



Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; * interação significativa (Tukey= p<0,05) (n=5).

Em S0 a massa seca total (MST) obteve maior resultado em plantas que receberam aplicação do bioestimulante (Figura 13E). O estresse salino afetou negativamente a produção de biomassa, no entanto, a aplicação do bioestimulante proporcionou um ganho de 30,21% de massa seca total, em comparação as plantas SB (Figura 13E).

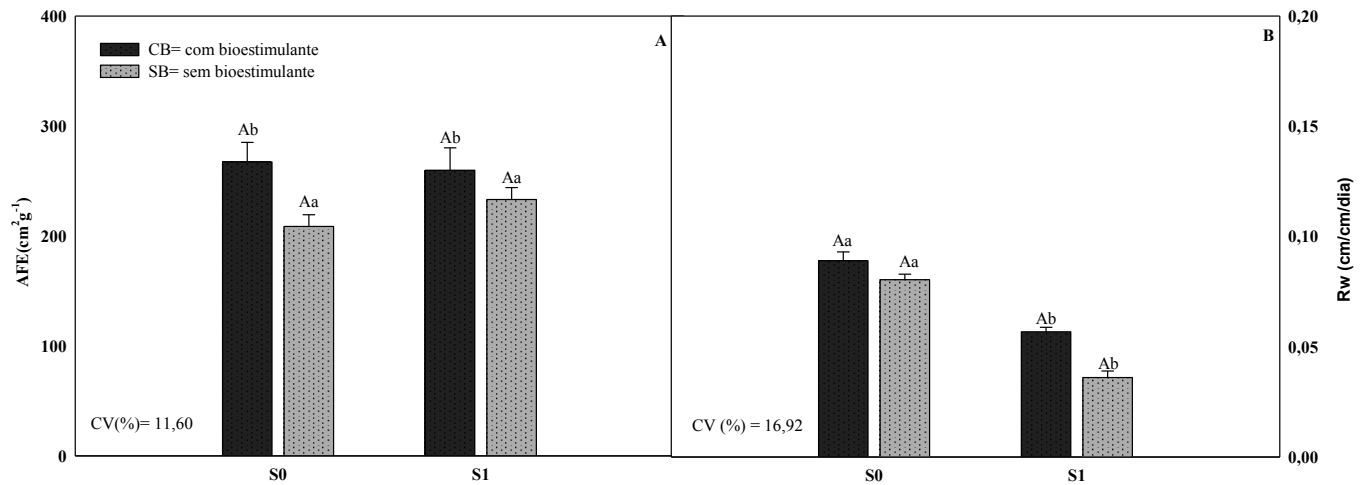
Figura 13: Massa seca total – MST (E) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.



Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; (Tukey= p<0,05) (n=5).

A área foliar específica (AFE) foi maior na ausência do bioestimulante. Foi observado que em S0 e S1 o resultado se mostrou 8,91 e 4,38% superior na ausência do produto (Figura 14A). O crescimento relativo (14B) foi 33,39% maior em plantas que receberam o bioestimulante (Figura 14B). Na ausência do produto e sob influência do estresse salino, o Rw apresentou redução de 37,63% (Figura 14B).

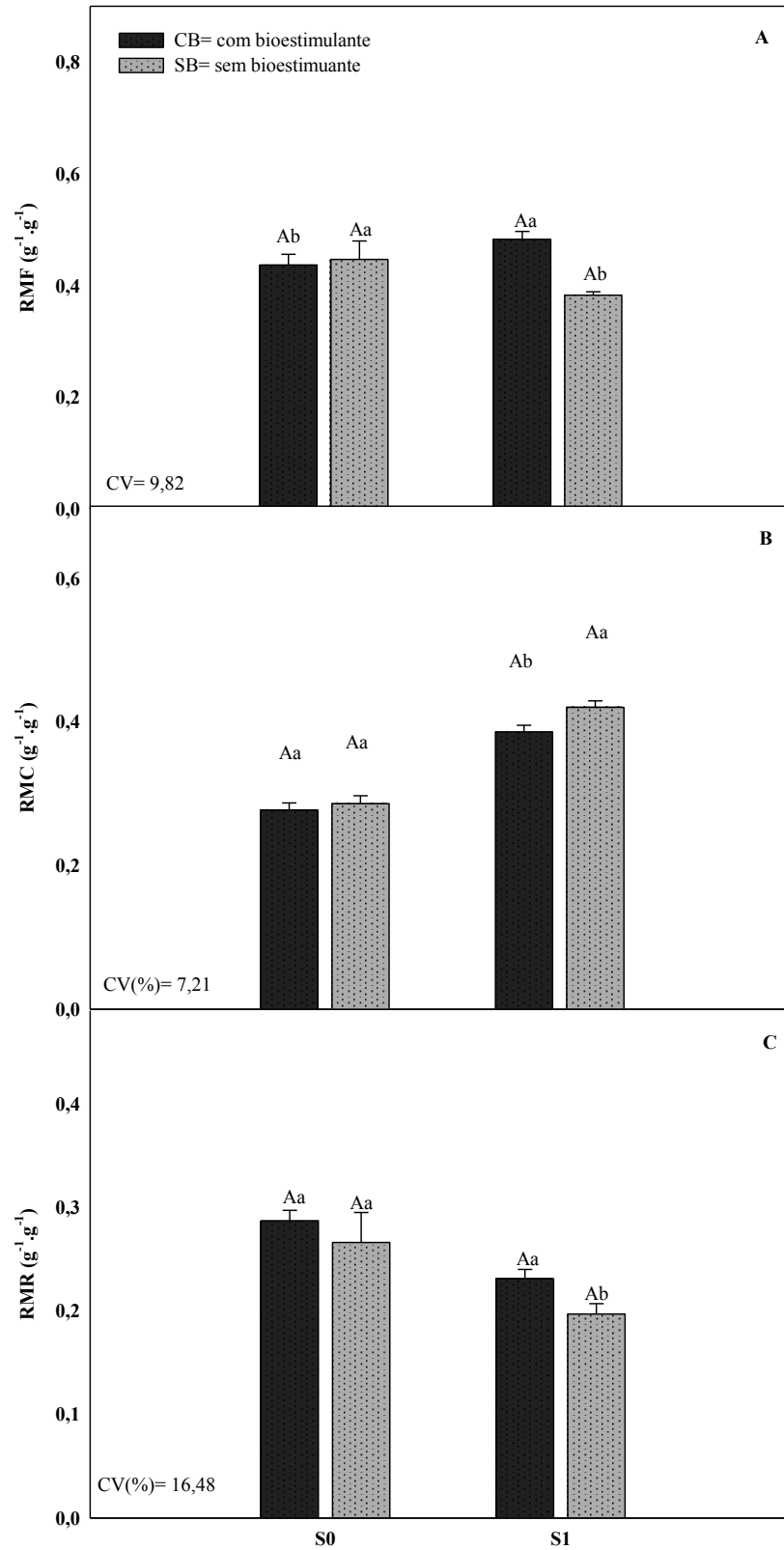
Figura 14: Área foliar específica - AFE (A), e crescimento relativo- Rw (C) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.



Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; (Tukey= p<0,05) (n=5).

Sob condições estressantes foi observado que houve maior concentração de fotoassimilados na parte aérea, com cerca de 49,30% para RMF e 32,95% para RMC (Figura 15A e 15B, respectivamente), em detrimento da RMR concentrando apenas 17,75% de biomassa (Figura 15C). Em relação ao tratamento de S0 houve a partição de biomassa se mostrou mais equilibrada, com cerca de 44,15%, 28,10% e 27,75 (RMR, RMC e RMR, respectivamente) na figura 15A, 15B e 15C, respectivamente.

Figura 15: Razão de massa foliar - RMF (A), razão de massa caulinar – RMC (B) e razão de massa radicular– RMR (C) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.

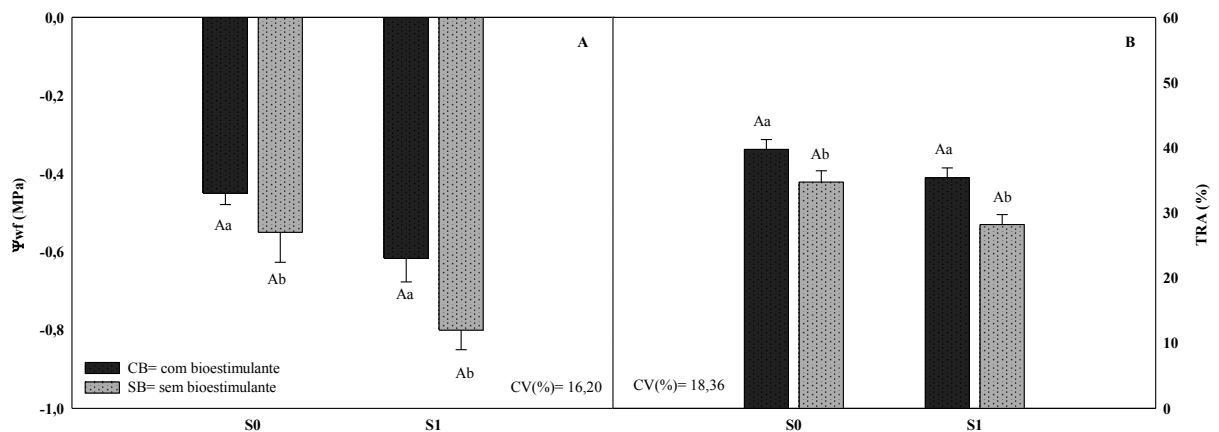


Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; (Tukey= p<0,05) (n=5).

Os índices RAF (razão de área foliar) e R/PA (razão parte aérea/raiz) não apresentaram resultado significativo.

Nas plantas de soja o potencial hídrico foliar (ψ_{wf}) e o teor relativo de água (TRA) foram influenciados pela salinidade. Sob estresse salino (S1) o ψ_{wf} foi 22,87% mais negativo na ausência do bioestimulante (Figura 16A), mesmo em S0, o potencial hídrico foliar foi maior na soja com bioestimulante. O Teor relativo de água (TRA) foi maior em plantas com bioestimulante, mostrando um aumento de 16,18% (Figura 16B).

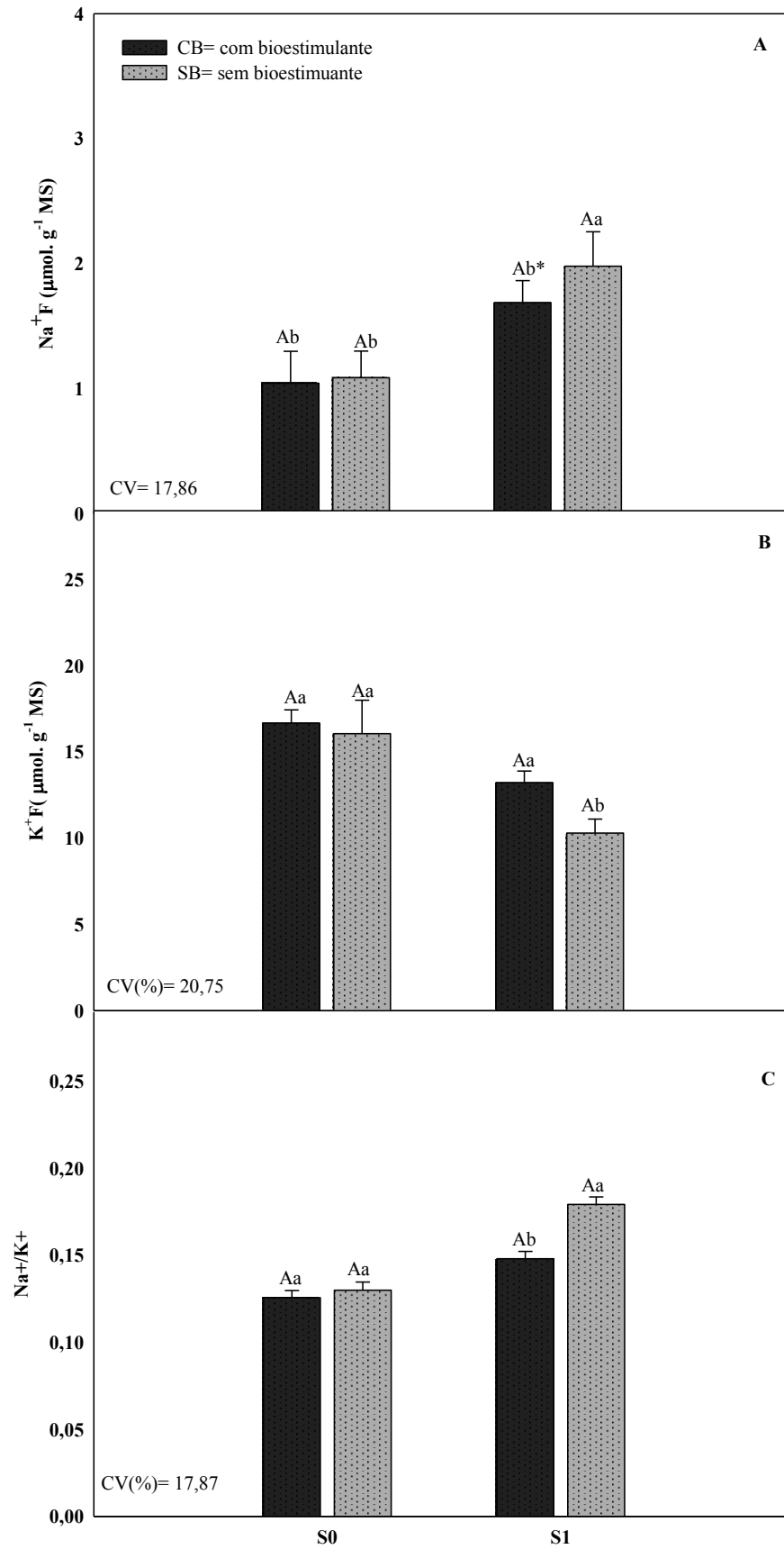
Figura 16: Potencial hídrico foliar - ψ_{wf} (A) e teor relativo de água - TRA (B) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.



Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; (n=5).

Houve interação entre os fatores bioestimulante e estresse salino no conteúdo de sódio (Na⁺) no tecido foliar. Nas plantas de S1 que não houve aplicação do bioestimulante o conteúdo do cátion foi superior (Figura 17A). Em condições de estresse salino (S1), a concentração de K⁺ no tecido foliar apresentou redução de 32,33% na ausência do bioestimulante (Figura 17B). Em S0 a razão Na⁺/K⁺ não apresentou diferença, e em S1 os maiores valores foram obtidos em S1 (figura 17C).

Figura 17: Teor de Na^+F (A), K^+F (B) e razão Na^+/K^+ (C), em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.

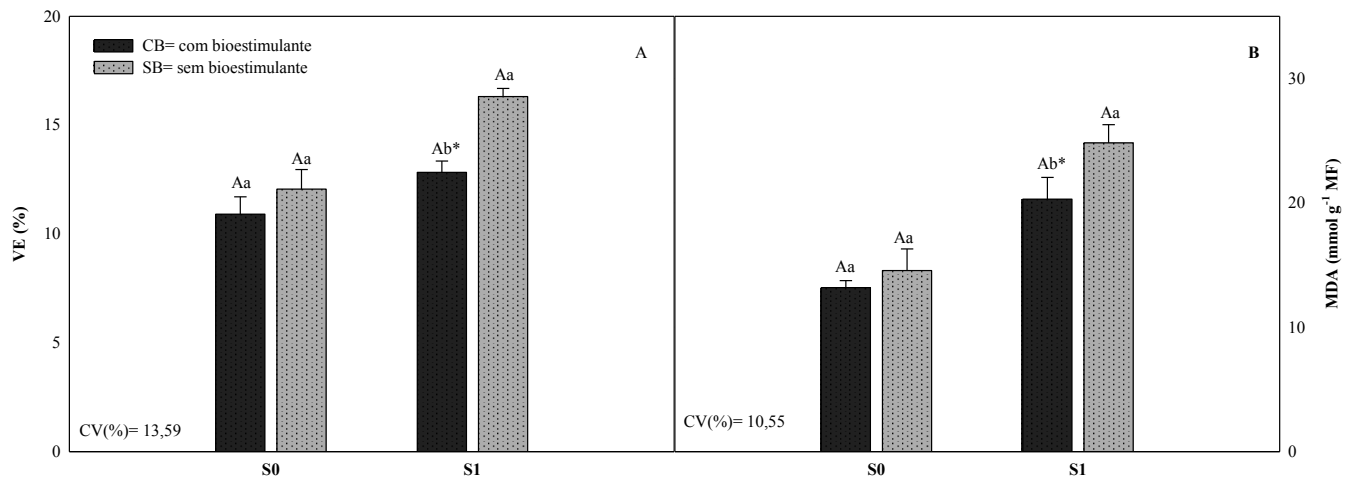


Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias

do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; (Tukey= $p < 0,05$) (n=5).

Em S0 não houve diferença significativa no vazamento de eletrólitos (Figura 18A). Em relação a S1 houve interação entre os fatores. A ausência do bioestimulante em S1 mostrou maior VE. O resultado se mostrou 21,39% maior que S1 com bioestimulante (Figura 18B). O conteúdo de malondialdeído (MDA) apresentou interação entre a salinidade e o bioestimulante. Em S1 as plantas não tratadas com o produto apresentaram MDA 18,21% maior que em plantas de S1 com bioestimulante (Figura 18B). Em S0 não houve diferença significativa.

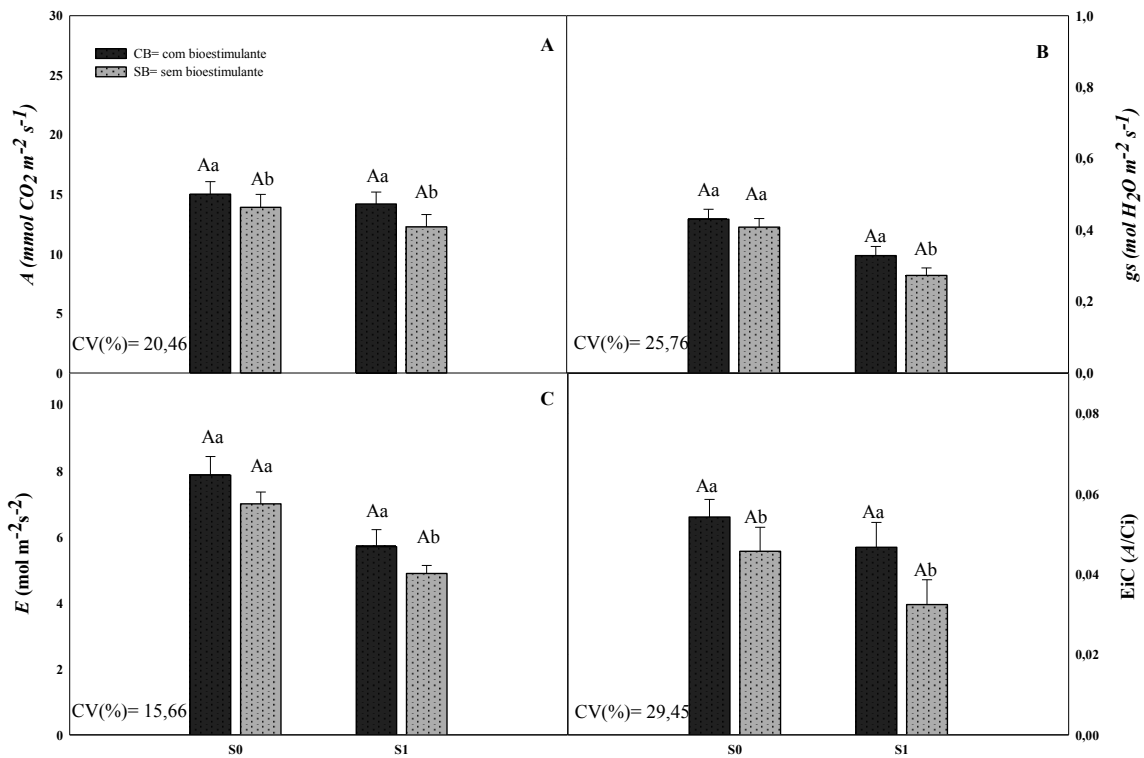
Figura 18: vazamento de eletrólitos - VE (A) e malondialdeído - MDA (B) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.



Em situação de S0 e S1 os maiores valores de fotossíntese líquida foram maiores em plantas com bioestimulantes (Figura 19A). Em S1 a fotossíntese apresentou redução de 15,75% em plantas não tratadas com bioestimulante. Os resultados foram semelhantes nos parâmetros de condutância estomática e transpiração (Figura 19B e 19C, respectivamente). Na ausência do bioestimulante e S1, a g_s apresentou redução de 20,41% (Figura 19B), e na transpiração (E) houve redução de 16,56% nos resultados da transpiração (Figura 19C). Em S0, a fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração foram 7,46%, 5,00% e 11,05% superior em comparação ao mesmo tratamento de S0 sem bioestimulante (Figura 19A, 19B, 19C, respectivamente). Não houve diferença significativa na eficiência do uso da água (EUA) e na razão C_i/C_a .

Na eficiência da carboxilação (A/C_i) foram observados os maiores valores na soja pulverizada com o bioestimulante (Figura 19D). A E_{ic} foi 30,54% maior com o uso do produto e, em plantas estressadas os valores se mostraram 22,45% superior em plantas sob ausência do bioestimulante, expondo que em SB apresentaram menor taxa fotossintética (Figura 19A) em comparação a quantidade de CO_2 interno.

Figura 19: Taxa fotossintética – A (A), condutância estomática – g_s (B), transpiração – E (C), eficiência de carboxilação – E_{ic} (D), em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.

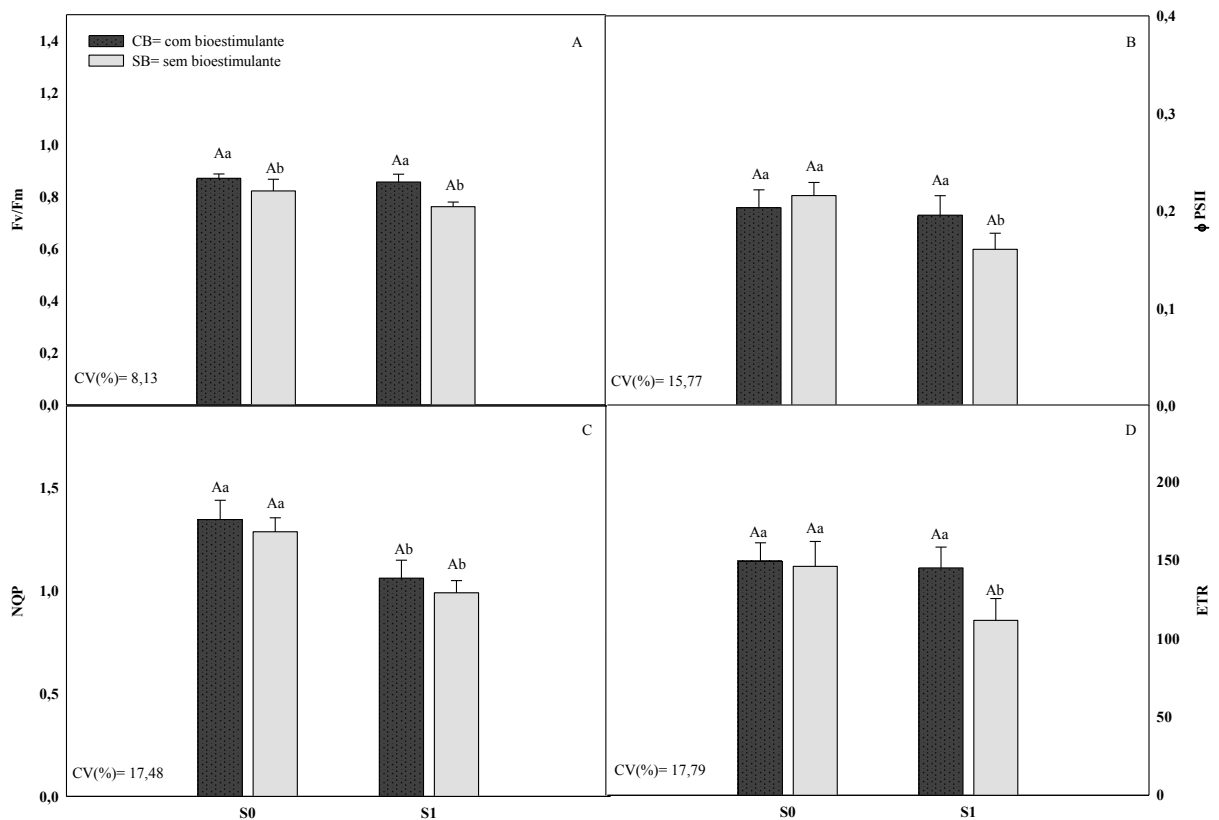


Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; (Tukey= p<0,05) (n=5).

A F_v/F_m apresentou resposta significativa ao bioestimulante. As maiores razões de F_v/F_m foram obtidas na soja que recebeu aplicação do produto, exibindo resultados 5,62% em S0 e 10,98% em S1, superiores em comparação aos em seus respectivos tratamentos (Figura 20A). A $\Phi PSII$ apresentou influência do estresse salino, em condição de S1 houve uma variação de 17,94% maior com o uso do bioestimulante (Figura 20B). De maneira geral a $\Phi PSII$ foi maior nas plantas que receberam produto.

Em relação a NPQ, sob estresse salino, o quenching não fotoquímico foi 28,43% inferior em comparação a condição S0; no entanto, observou-se que mesmo sob condições estressantes, houve acréscimo de 6,60% em plantas que receberam a pulverização do bioestimulante (Figura 20C). Na taxa de transporte de elétrons (ETR) houve interação entre o estresse salino e o bioestimulante. Em S1 foi observado que a ETR foi 23,07% maior na presença do bioestimulante (Figura 20D) e, de modo geral, os resultados mostraram que o uso do bioestimulante promoveu uma ETR 11,24%.

Figura 20: Eficiência fotoquímica máxima do PS II- Fv/Fm (A), eficiência fotoquímica efetiva do PS II - Φ PSII (B), quenching não fotoquímico - NPQ (C), e taxa de transporte de elétrons - ETR (D) em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.

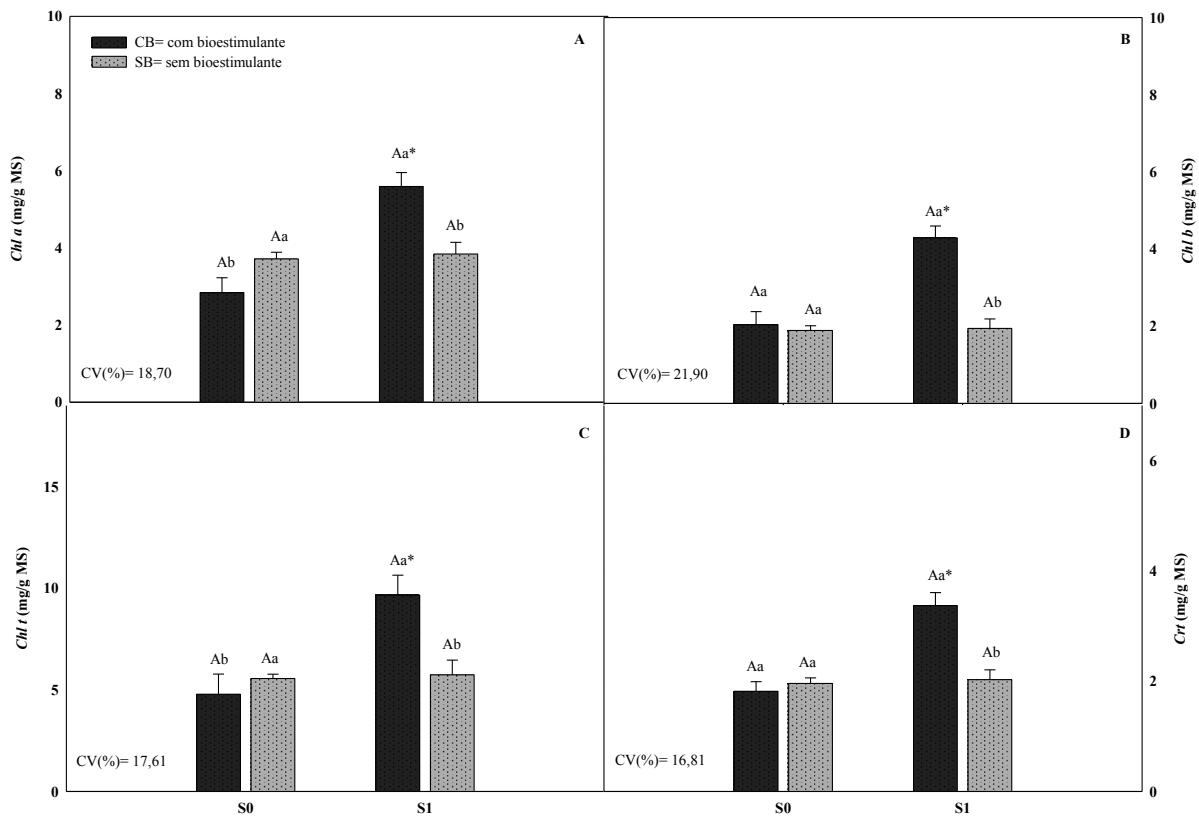


Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; (Tukey= p<0,05) (n=5).

O conteúdo de clorofila a (*Chl a*), b (*Chl b*), total (*Chl t*) e carotenoides (*Crt*) foi maior em plantas pulverizadas com bioestimulante (Figura 21A, 21B e 21C, respectivamente).

Nessas variáveis houve interação entre os fatores, bioestimulante e estresse salino. Em condições de estresse salino (S1), a *Chl a* apresentou um incremento de 31,18% na soja com bioestimulante, em comparação a SB (Figura 21A). O resultado se mostrou semelhante nos parâmetros *Chl b* (Figura 21B), *Chl t* (Figura 21C) e *Crt* (Figura 21D). Os incrementos nas variáveis de clorofila b, total e carotenoides foi de 54,67%, 40,57% e 40,05%, respectivamente.

Figura 21: clorofila a - *Chl a* (A), clorofila b - *Chl b* (B), clorofila total - *Chl T* (C) e carotenoides - *Crt* (D), em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante, em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.

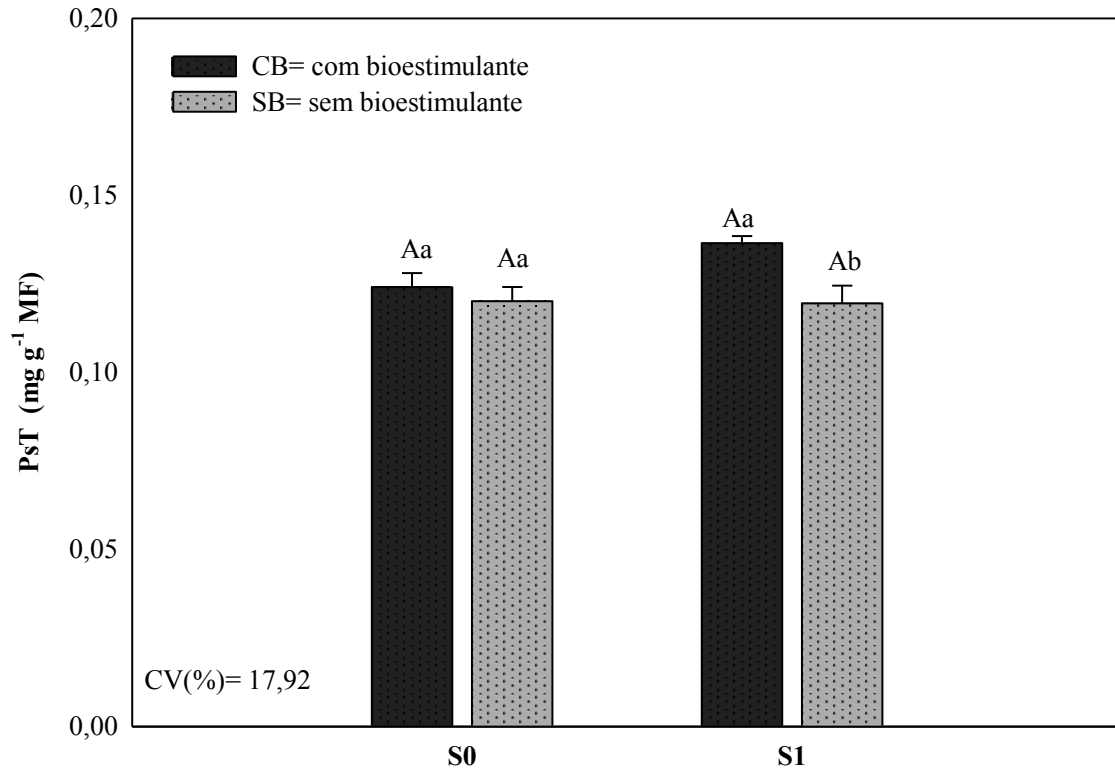


Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); * interação significativa (Tukey= p<0,05) (n=5).

O conteúdo de proteínas solúveis totais foi maior em plantas tratadas com bioestimulante (Figura 22), houve interação significativa entre os fatores. Em condições de estresse salino, a PsT foi 34,19% superior em plantas pulverizadas com o bioestimulante (Figura 22). Mesmo sob ausência do estresse o conteúdo de proteínas solúveis totais foram

maiores em plantas com bioestimulante. De modo geral, uso do bioestimulante resultou em 25,08% maior de PsT.

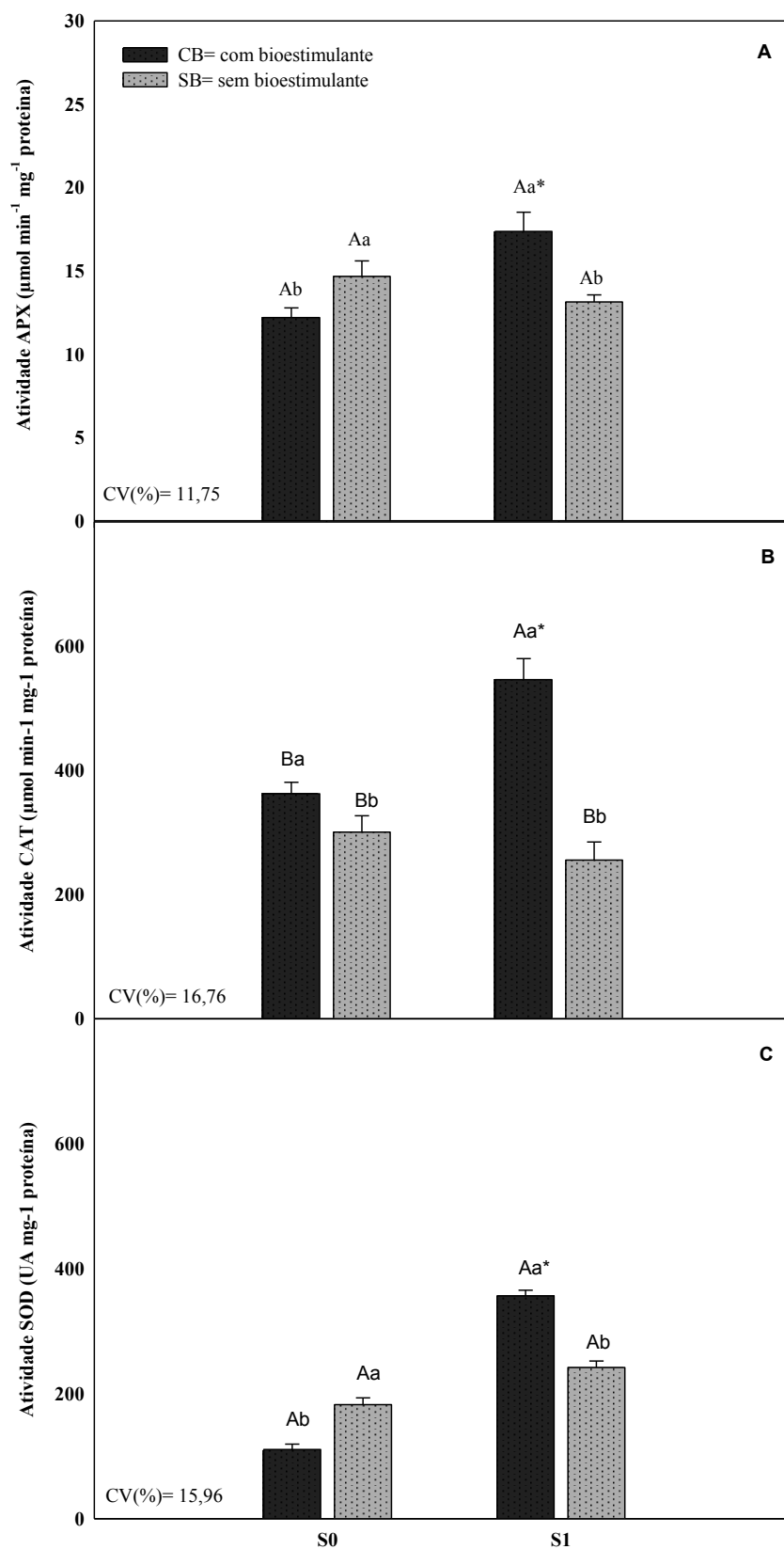
Figura 22: Proteínas solúveis totais – PsT em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.



Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; (n=5).

A atividade das enzimas antioxidativas, ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD) foi superior na soja que recebeu o bioestimulante (Figura 23). Nessas variáveis houve interação entre os fatores salinidade e o uso do bioestimulante. Sob condições de estresse salino (S1) a atividade da APX, CAT e SOD foi 32,16%, 113,63% e 47,34%, respectivamente, inferior em plantas sem bioestimulante. Enquanto que, mesmo em condições estressantes, o uso do bioestimulante induziu um incremento de 24,36%, 53,18% e 32,13% nas atividades da ascorbato peroxidase, catalase e superóxido dismutase, respectivamente (Figura 23A, 23B e 23C, respectivamente).

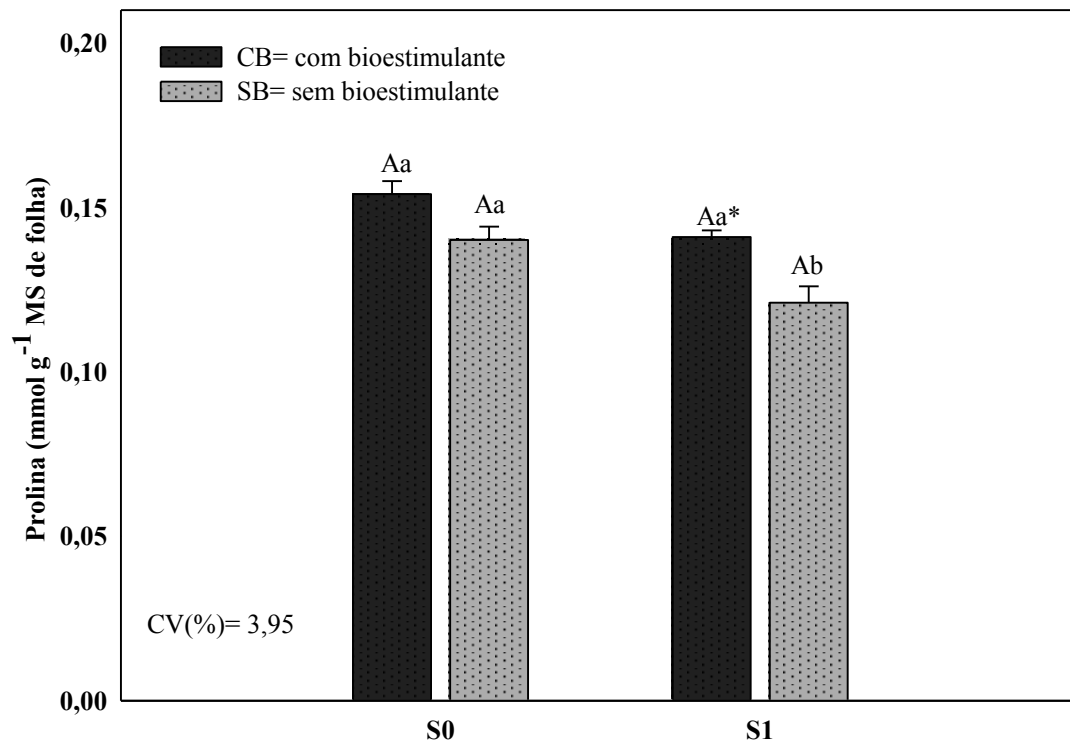
Figura 23: Atividade enzimática da ascorbato peroxidase- APX (A), catalase - CAT (B) e superóxido dismutase – SOD (C), em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.



Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; CV= coeficiente de variação; * interação significativa (Tukey= p<0,05) (n=5).

Em S0 não houve diferença na prolina. Sob estresse salino o conteúdo de prolina foi maior. Houve interação entre os fatores observados (Figura 24). O uso do bioestimulante em S1 mostrou o aumento no conteúdo de prolina de 14,18% maior que as plantas estressadas e não tratadas com bioestimulante (Figura 24).

Figura 24: Conteúdo de prolina em plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante no V3+R1.



Tratamento com bioestimulante (CB), e sem bioestimulante (SB). Tratamento sem estresse salino S0 (CE = 0,3 dS.m⁻¹) e com estresse S1 (CE = 4,0 dS.m⁻¹). Letras maiúsculas distintas apresentam diferenças entre as médias do primeiro fator (salinidade), e letras minúsculas mostram diferenças entre as médias do segundo fator (bioestimulante); CV= coeficiente de variação; * interação significativa (Tukey= p<0,05) (n=5).

8 DISCUSSÃO

A maioria das plantas cultivadas costumam apresentar comprometimento de processos fisiológicos causados pela salinidade (MUNNS & TESTER, 2008). O estresse salino afeta inicialmente a planta através do seu osmótico, no qual os principais efeitos se assemelham aos impactos do pelo estresse hídrico (TAIZ *et al.*, 2017). O segundo componente do estresse salino, ou iônico, caracterizado pelo excesso de sais, como Na⁺ e Cl⁻, atingem níveis tóxicos na célula vegetal (MUNSS, 2002). Com esses efeitos danosos da salinidade, as plantas têm seu crescimento e desenvolvimento comprometidos (ZHOU, H., & XU, L, 2023).

Uma vez que esses sais são absorvidos influenciam na turgescência celular, na fotossíntese e em atividade de enzimas (SINGH *et al.*, 2015). Tendo isso em vista, são várias as plantas que são capazes de ativar mecanismos fisiológicas e bioquímicas que proporcionem melhor aclimatação e tolerância à salinidade (MOURA *et al.*, 2020). Dentre esses mecanismos incluem mudanças morfológicas, mecanismos de evitação como a redução de área foliar, menor condutância estomática como forma de reduzir a transpiração, produção de osmólitos compatíveis, além de apresentarem alterações no perfil hormonal, compartimentalização de íons e biossíntese de enzimas específicas (COLLA *et al.*, 2010).

Tendo isso em vista, a intensificação por períodos prolongados ao estresse salino a produção de biomassa é reduzido, assim como, altura, número de folhas, comprimento radicular, dentre outros parâmetros, devido, em sua maioria, a interferência dos sais no conteúdo interno de água na planta (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2017).

A redução do diâmetro do caule em S1 expõe a provável dificuldade e o comprometimento da absorção de água pela soja (WANG *et al.*, 2017). No entanto, o tratamento de S1 com bioestimulante mostrou diâmetro do caule superior.

Assim, em outros parâmetros de crescimento os resultados do comprimento da raiz e o número de folhas foi perceptível a influência do estresse salino na soja. Em estudos realizados por Rady *et al.* (2019) foi observado uma correlação negativa entre parâmetros biométricos e a salinidade. Cabe assim salientar que com o tratamento com bioestimulante houve incrementos nas variáveis: CR, DC e NF.

Em condições de salinidade a redução da área foliar em plantas possivelmente ocorre devido a uma diminuição no turgor foliar e alterações na parede celular (ELANSARY *et al.*, 2016) Também por possíveis mecanismos de evitação como forma de minimizar as

perdas de água quando os estômatos são fechados, conseqüentemente acarretando na diminuição de influxo de CO₂ (RODRÍGUEZ *et al.*, 2005). Em vários estudos observados com a aplicação do extrato da alga *Ascophyllum nodosum* e ácidos húmicos ocorreu o aumento da área foliar (AL-GHAMDI *et al.*, 2018). O que corrobora com o obtidos em nossos resultados na soja em S1 com bioestimulante.

A inibição e redução do alongamento celular afeta drasticamente a produção de biomassa causado por Na⁺ e Cl⁻ (HUANHE *et al.*, 2023). A ausência de bioestimulante em S1 em plantas mostrou expressiva redução na MST, expondo claramente o efeito da salinidade na produção de biomassa. Enquanto que, em S1 com aplicação do bioestimulente apresentou maior MST.

Dentre os índices morfofisiológicos, a AFE, RAF e Rw buscam relacionar parâmetros biométricos com variáveis fisiológicas, dessa forma, a redução da área foliar, produção de biomassa e altura influenciam nesses índices (RODRIGUEZ *et al.*, 2005). Apesar da maior AFE em plantas de S1 os resultados mostraram maior eficiência fotossintética. E o crescimento relativo, mostrou resultado positivo, mostrando assim maior crescimento relativo ao acúmulo de biomassa em plantas de S1 tratadas com bioestimulante.

A alocação de biomassa para a folha, caule e raízes apresentam alterações em ambientes salinos (GHANEM *et al.*, 2008). Devido a alterações fisiológicas causados por condições estressantes, afetam mecanismos das plantas de distribuição na biomassa produzida (ELANSARY *et al.*, 2020). Assim, muitas áreas podem apresentar maior ou menor concentração em determinadas áreas específicas, dependendo do estresse o sistema radicular ou a parte aérea (caule e folhas) são mais afetados (caule e raiz) (HUANHE *et al.*, 2023).

Em nossos resultados mostram que a ausência do estresse salino (S0) propiciou maior equilíbrio na divisão de biomassa em todas as partes da soja, incompatível ao que foi observado em (S1). Em geral, as plantas sob estresse salino passam a reduzir a produção de biomassa, dessa forma, sua alocação também é reduzida.

O comprometimento na absorção de água afeta o status hídrico das plantas (KUMARI *et al.*, 2022). A redução do Ψ_{wf} e do TRA menores em S1 mostram o efeito do estresse salino no conteúdo de água na soja. Como consequência no menor fluxo de água dentro da planta, os vegetais passam a apresentar limitações estomáticas, como a menor condutância; e não estomáticas, como a inibição das enzimas do Ciclo de Calvin, como a Rubisco e FosfoenolPiruvato PEPCase) (CHAVES *et al.*, 2009)

O estado hídrico da planta é um importante índice fisiológico utilizado na determinação da tolerância aos estresses abióticos (SOLTYS-KALINA *et al.*, 2016) como a

salinidade (MUNNS, 2022). A tolerância a salinidade através da aplicação de bioestimulantes são encontradas em diversas culturas (KASIM *et al.*, 2016; CHANTHINI *et al.*, 2022). Dessa forma se pode compreender como o uso do bioestimulante utilizado pode ser um fator importante na manutenção do equilíbrio hídrico celular (JENSEN *et al.*, 2018; LARIBI *et al.*, 2023).

Assim, através de resultados obtidos na soja em S1 tratada com bioestimulante obteve manutenção no seu teor relativo de água e potencial hídrico foliar com o tratamento do bioestimulante em plantas tratadas com o bioestimulante. Em resultados obtidos no presente estudo, o TRA e o Ψ_wF se mantiveram maiores em plantas de S1 tratadas com bioestimulante.

Diante dos resultados obtidos, mesmo em S1 teor de Na^+ foi inferior com o uso do bioestimulante, assim acompanhado da maior concentração de K^+ no tecido foliar da soja sob estresse salino com o uso do bioestimulante. Refletindo dessa forma na razão Na^+/K^+ positiva devido provavelmente ao possível maior equilíbrio entre os cátions. Resultados semelhantes foram observados por Rady *et al.* (2019) no feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L) e Desoky *et al.* (2020) no feijão caupi (*Vigna unguiculata*) tratados com bioestimulante

Os distúrbios causados pelo estresse salino nas células vegetais podem refletir no efluxo de K^+ devido ao efeito antagonístico do Na^+ (KUMARI *et al.*, 2021). Diante disso, nas células são observados correlação entre o efluxo de K^+ o vazamento de eletrólitos. (DEMIDCHICK *et al.*, 2014).

De acordo com os resultados obtidos mostraram que o maior dano de membrana analisado através do vazamento de eletrólitos foi maior em S1; no entanto, em S1 com o bioestimulante o VE foi apresentou valores inferiores. Por certo, nossos resultados obtidos corroboram com os resultados por Gul *et al.* (2023) na redução no vazamento de eletrólitos em variedades de rabanetes tratadas com bioestimulante à base de extrato de algas marinhas.

Em outros parâmetros indicadores dos danos das membranas causados pelo estresse salino e por moléculas como H_2O_2 , causadoras do estresse oxidativo, aumentando o conteúdo resultantes da peroxidação lipídica como malondialdeído (FENG *et al.*, 2021), como observado por (SADAK *et al.*, 2022) na cultura da soja sob estresse salino. Em nossos resultados foi obtido menor conteúdo de MDA com o uso do bioestimulante em S1. O resultado corrobora com o obtido por Jacomassi *et al.* (2022) na cana-de- açúcar.

A exposição aos estresses abióticos, a membrana celular apresenta alterações drásticas em sua composição e permeabilidade (SADAK & DAWOOD, 2023). Danos oxidativos causados pelas EROS provocam estabilidade da membrana, além de danificar ácidos nucleicos, peroxidação dos lipídeos presentes nas membranas (KARTHIK *et al.*, 2019;

LI & KIM, 2022). Dessa forma a deterioração da membrana causadas por esses compostos tóxicos aumenta parâmetros como o vazamento de eletrólitos que também se correlaciona com o efluxo de K^+ resultado em plantas sob condições de estresse salino por Zhou et al., (2022) no tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Os pigmentos fotossintéticos, como a clorofila *a* e *b*, atuam como complexo antena atuando na absorção e transferência de energia (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2015). Esses pigmentos exibem relação com o metabolismo e eventos fotoquímicos da fotossíntese (KHATRI & RATHORE, 2019). Diante disso a relação entre as clorofilas indica o tamanho reduzido da antena de captação de luz PSII, alterada atividade da RUBISCO e menor relação entre PSII e PSI (EVANS & POORTER, 2001). Os pigmentos carotenoides que atuam como pigmentos acessórios e fotoprotetores. Em nossos resultados foram observados que a defesa não enzimática nesses componentes foi maior com o uso do bioestimulante.

Diante de condições adversas a formação de EROS (estresse oxidativo) e a maior atividade da enzima clorofilase resultam na degradação da clorofila (KARLIDAG *et al.*, 2011).

Dessa forma em condições salinas ocorre alterações em parâmetros como, Fv/Fm (PSII), Φ PSII, NQP, qP e ETR (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2015; DHOKNE *et al.*, 2022). Com isso, em variáveis analisadas da fluorescência da clorofila *a* (Fv/Fm, Φ PSII, NQP e ETR) em nosso estudo sofreram alterações em S1; enquanto em plantas tratadas com bioestimulante os resultados mostraram resultados positivos na dissipação de energia e na integridade do maquinário fotossintético.

A menor condutância estomática obtida em S1 sem bioestimulante mostraram reflexos na menor transpiração e fotossíntese líquida, refletindo conseqüentemente produção de biomassa. De maneira oposta, o uso do bioestimulante sob estresse salino, as plantas de soja obtiveram maior condutância estomática, transpiração e assimilação de CO_2 . De fato, a manutenção do status hídricos de plantas em condições de estresse são favorecidas com o uso de bioestimulantes (DESOKY *et al.*, 2021).

Como maneira de não desenvolver maior resistência e tolerância aos danos oxidativos provocados por estresses, as plantas desenvolveram um sistema complexo de defesa (RADY *et al.*, 2019). Dentre o sistema de defesa antioxidante enzimáticos, fazem parte as enzimas APX, CAT, SOD (LOUDARI *et al.*, 2023) antioxidantes não enzimáticos estão presentes compostos como a osmólitos compatíveis como a prolina, e fotoprotetores como como os carotenoides (NIGAM *et al.*, 2022).

O complexo enzimático antioxidativo (APX, CAT e SOD) converte compostos tóxicos (EROS) em moléculas simples como H₂O e O₂, assim não causando danos as células (HODGES *et al.*, 1997). Com isso, a maior atividade dessas enzimas reduz os danos causados por EROS. Em pesquisas desenvolvidas por Desoky et al. (2017) na ervilha e Elansary et al. (2020) na hortelã, mostraram aumento enzimático antioxidativo em plantas com bioestimulante. De fato, a soja em S1 apresentou maior atividade das enzimas PAX, CAT e SOD, com o uso do bioestimulante.

Segundo Parida & Das (2002) ocorre redução na produção de proteínas encontradas em plantas em condições de estresse salino, especialmente em mais severos. Como visualizado nos resultados as PsT apresentaram expressivas reduções em S1, provavelmente devido a intensidade do estresse e ao acúmulo de compostos tóxicos. Assim, cabe observar que na soja sob estresse salino as proteínas solúveis totais apresentaram incremento possivelmente devido a maior biossíntese promovida pelo bioestimulante.

No sistema de defesa não enzimático os osmólitos compatíveis atuam no reestabelecimento hídrico da planta (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2017). Nossos resultados mostraram maior conteúdo de prolina com a aplicação de bioestimulante. De fato, Hinai et al. (2022) mostraram relação positiva com o aumento de prolina com o uso de bioestimulante em plantas de trigo submetidas ao estresse salino.

9 CONCLUSÃO

1. A soja tratada com bioestimulante à base do extrato de algas marinhas e ácidos fúlvicos apresentou maior tolerância aos efeitos danosos do estresse salino.
2. A ação do bioestimulante nos processos fisiológicos e bioquímicos mostrou resultados perceptíveis nos parâmetros biométricos isolados, como o diâmetro caulinar e nos índices morfofisiológicos, como no crescimento relativo.
3. O conteúdo de prolina e carotenoides apresentaram incrementos atuando eficientemente como osmólito compatível e fotoprotetor, respectivamente.
4. O bioestimulante proporcionou maior condutância estomática não comprometendo a assimilação de CO₂, produção de fotoassimilados, e também estimulou a proteção a maquinaria fotossintética promovendo a tolerância da soja as condições de salinidade.

REFERÊNCIAS

- ABEED, A. H. A.; AL-HUQAIL, A. A.; ALBALAWI, S.; ALGHAMDI, S. A.; ALI, B.; ALGHANEM, S. M. S.; AL-HAITHLOUL, H. A. S.; AMRO, A.; TAMMAM, S. A.; EL-MAHDY, M. T. Calcium nanoparticles mitigate severe salt stress in *Solanum lycopersicon* by instigating the antioxidant defense system and renovating the protein profile. **South African Journal of Botany**, v. 161, n. 10, p. 36–52, outubro. 2023.
- ACOSTA-MOTOS, J. R.; DIAZ-VIVANCOS, P.; ÁLVAREZ, S.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNÁNDEZ, J. A. NaCl-induced physiological and biochemical adaptative mechanisms in the ornamental *Myrtus communis* L. plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 183, n. 7, p. 41–51, julho. 2015.
- ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. **Agronomy**, v. 7, n. 2, p. 1-38, fevereiro. 2017.
- ADHIKARI, B.; DHUNGANA, S. K.; KIM, I. D.; SHIN, D. H. Effect of foliar application of potassium fertilizers on soybean plants under salinity stress. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19, n. 4, p. 261–269, fevereiro. 2020.
- AL-FARSI, S. M.; AL-SADI, A. M.; ULLAH, A.; FAROOQ, M. Salt Tolerance in Alfalfa Landraces of Omani Origin: Morpho-Biochemical, Mineral, and Genetic Diversity Assessment. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 2, p. 1484–1499, março. 2021.
- AL-GHAMDI, A. A.; ELANSARY, H. O. Synergetic effects of 5-aminolevulinic acid and *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on Asparagus phenolics and stress related genes under saline irrigation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 129, n. 8, p. 273–284, agosto. 2018.
- ALOF, J. O. R.; MORALES, M. A.; OLMOS, E.; TORRECILLAS, A.; ALARCN, J. Changes in the Growth , Leaf Water Relations and Cell Ultrastructure in *Argyranthemum coronopifolium* Plants under Saline Conditions. v. 153, n. 7, p. 174-180. Julho. 1998.
- ARIF, Y.; SINGH, P.; SIDDIQUI, H.; BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, n. 6, p. 64–77, junho. 2020
- ASHRAF, M.; AKRAM, N. A. Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: An analytical comparison. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 6, p. 744–752, março. 2009.
- ASTANEH, R. K.; BOLANDNAZAR, S.; NAHANDI, F. Z.; OUSTAN, S. The effects of selenium on some physiological traits and K, Na concentration of garlic (*Allium sativum* L.) under NaCl stress. **Information Processing in Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 156–161, março. 2018.
- ATHAR, H.; ZUL, F.; MOOSA, A.; ASHRAF, M.; ZAFAR, Z. U.; ZHANG, L.; AHMED, N.; KALAJI, H. M.; NAFEEES, M.; HOSSAIN, M. A.; ISLAM, M. S. Salt stress proteins in plants:

An overview. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 5, p. 1-23, dezembro. 2022.

BATTACHARYYA, D.; BABGOHARI, M. Z.; RATHOR, P.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, n.1 p. 39–48, junho. 2015

BATES, L.S., WALDREN, R.P. AND TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**. v. 207, n. 39, p. 205–207, Agosto. 1973.

BEAUCHAMP, CHARLES.; FRIDOVICH, I. Superoxide Dismutase: Improved Assays and an Assay Applicable to Acrylamide Gels. v. 44, n. 1, p. 276–287. novembro, 1971.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, v.1, p. 42, 2003

BETZEN, A.; BLISS, M.; CERA, M.; KERI, L.; BRIAN, R. Effects of Increasing Salinity on Photosynthesis and Plant Water Potential in Kansas Salt Marsh Species **Transactions of the Kansas Academy of Science**, v. 122, n. 1, p. 49-58, maio. 2019.

BOUKHARI, M. E. M. EL; BARAKATE, M.; DRISSI, B. E.; BOUHIA, Y.; LYAMLOULI, K. Seaweed Extract Biostimulants Differentially act in Mitigating Drought Stress on Faba Bean (*Vicia faba* L.). **Journal of Plant Growth Regulation**, n. v. 42, n.7, p. 5642–5652. Março. 2023

BRADFORD. M. A rapid and sensitive method for the quantitation microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Crop Journal**, v. 5, n. 5, p. 407–415, maio. 2017.

BUEGE, J. A.; AUST, S. D. Microsomal Lipid Peroxidation. **Methods in Enzymology**, v. 52, n.78, p. 302–310, 1978.

BULGARI, R.; FRANZONI, G.; FERRANTE, A. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. **Agronomy**. v, 9. n.306, p. 1-30. Junho. 2019

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, n. 8, p. 3–41. maio. 2014.

CAMBRIDGE, M. L.; ZAVALA-PEREZ, A.; CAWTHRAY, G. R.; MONDON, J.; KENDRICK, G. A. Effects of high salinity from desalination brine on growth , photosynthesis , water relations and osmolyte concentrations of seagrass *Posidonia australis*. **Marine Pollution Bulletin**, v. 115, n. 1–2, p. 252–260, fevereiro. 2017.

CAMPOBENEDETTO, C.; MANNINO, G.; AGLIASSA, C.; ACQUADRO, A.; CONTARTESE, V.; GARABELLO, C.; BERTEA, C. M. Transcriptome analyses and antioxidant activity profiling reveal the role of a lignin-derived biostimulant seed treatment in enhancing heat stress tolerance in soybean. **Plants**, v. 9, n. 10, p. 1–19, outubro. 2020.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; AGUIAR, N. O.; JONES, D. L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, n. 9, p. 15–27. setembro. 2015.

CHANTHINI, K.M.P.; NATHAN, S.S.; PAVITHRA, G.S.; MALARVIZHI, P.; MURUGAN, P.; ANDREWS, A. D.; JANAKI.M.; SIVANESH. H.; RAMASUBRAMANIAN. R.; RAJA, V.S.; GHAITH.A.; MEGEED. A.A.; KRUTMUANG.P. Aqueous Seaweed Extract Alleviates Salinity-Induced Toxicities in Rice Plants (*Oryza sativa* L.) by Modulating Their Physiology and Biochemistry. **Agriculture** , v. 12, n, 9. p. 2049, dezembro. 2022.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551–560, maio. 2009.

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; SOUZA, M. A. DE; SANTOS, J. E. DE. ACÚMULO E DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES EM GENÓTIPOS DE SORGO FORRAGEIRO SOB SALINIDADE. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 178, dezembro.. 2017.

COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; LEONARDI, C.; BIE, Z. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 10, p. 147-155. dezembro. 2010.

CRISTOFANO, F.; EL-NAKHEL, C.; ROUPHAEL, Y. **Biostimulant substances for sustainable agriculture: Origin, operating mechanisms and effects on cucurbits, leafy greens, and nightshade vegetables species.** **Biomolecules**.v., 11, n. 1103, p. 1-36. agosto. 2021.

DEINLEIN, U.; STEPHAN, A. B.; HORIE, T.; LUO, W.; XU, G.; SCHROEDER, J. I. Plant salt-tolerance mechanisms. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 6, p. 371–379, junho. 2014.

DEMIDCHIK, V.; STRALTSOVA, D.; MEDVEDEV, S. S.; POZHVANOV, G. A.; SOKOLIK, A.; YURIN, V. Stress-induced electrolyte leakage: The role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 5, p. 1259-1270, fevereiro. 2014.

DESOKY, E. M.; ELSAYED, A. I.; MERWAD, A. M. A.; RADY, M. M. Plant Physiology and Biochemistry Stimulating antioxidant defenses , antioxidant gene expression , and salt tolerance in *Pisum sativum* seedling by pretreatment using licorice root extract (LRE) as an organic biostimulant. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 142, n. 5, p. 292–302, maio. 2017.

DESOKY, E. S. M.; EL-MAGHRABY, L. M. M.; AWAD, A. E.; ABDO, A. I.; RADY, M. M.; SEMIDA, W. M. Fennel and ammi seed extracts modulate antioxidant defence system and alleviate salinity stress in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Scientia Horticulturae**, v. 272. n.9, p. 109576. outubro. 2020.

DESOKY, E. S. M.; ELRYS, A. S.; MANSOUR, E.; EID, R. S. M.; SELEM, E.; RADY, M. M.; ALI, E. F.; MERSAL, G. A. M.; SEMIDA, W. M. Application of biostimulants promotes growth and productivity by fortifying the antioxidant machinery and suppressing oxidative stress in faba bean under various abiotic stresses. **Scientia Horticulturae**, v. 288, n.5, p. 110340. maio 2021.

DHOKNE, K.; PANDEY, J.; YADAV, R. M.; RAMACHANDRAN, P.; RATH, J. R.;

- SUBRAMANYAM, R. Change in the photochemical and structural organization of thylakoids from pea (*Pisum sativum*) under salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 177, n. 5 p. 46–60, abril. 2022.
- DRIRA, M.; MOHAMED, J. BEN; HLIMA, H. BEN; HENTATI, F.; MICHAUD, P.; ABDELKAFI, S.; FENDRI, I. Improvement of *Arabidopsis thaliana* salt tolerance using a polysaccharidic extract from the brown algae *Padina pavonica*. **Algal Research**, v. 56, n. 11, p. 102-324, novembro. 2021.
- DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, n. 1 p. 3–14, novembro. 2015.
- ELANSARY, H. O.; MAHMOUD, E. A.; EL-ANSARY, D. O.; MATTAR, M. A. Effects of water stress and modern biostimulants on growth and quality characteristics of mint. **Agronomy**, v. 10, n. 10, novembro. 2020.
- ELANSARY, H. O.; SKALICKA-WOŹNIAK, K.; KING, I. W. Enhancing stress growth traits as well as phytochemical and antioxidant contents of *Spiraea* and *Pittosporum* under seaweed extract treatments. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 105, n. 8. p. 310–320, maio. 2016.
- EL-NAKHEL, C.; CRISTOFANO, F.; COLLA, G.; PII, Y.; SECOMANDI, E.; GREGORIO, M. DE; BUFFAGNI, V.; GARCIA-PEREZ, P.; LUCINI, L.; ROUPHAEL, Y. Vegetal-derived biostimulants distinctively command the physiological and metabolomic signatures of lettuce grown in depleted nitrogen conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 317, p. 1-13.n.8, julho. 2023.
- EVANS, J. R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: The relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell and Environment**, v. 24, n. 8, p. 755–767, dezembro 2001.
- FAROOQ, M.; GOGOI, N.; HUSSAIN, M.; BARTHAKUR, S.; PAUL, S.; BHARADWAJ, N.; MIGDADI, H. M.; ALGHAMDI, S. S.; SIDDIQUE, K. H. M. Plant Physiology and Biochemistry Effects , tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. **Plant Physiology et Biochemistry**, v. 118, n.5, p. 199–217, maio.2017.
- FEHR, W.; CAVINES, C. E. Stages of Soybean Development. n.1, março 1977.
- FENG, N.; YU, M.; LI, Y.; JIN, D.; ZHENG, D. Prohexadione-calcium alleviates saline-alkali stress in soybean seedlings by improving the photosynthesis and up-regulating antioxidant defense. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 220, n. 1 p. 112-369, setembro 2021.
- FU, H.; YANG, Y. How Plants Tolerate Salt Stress. **Current Issues in Molecular. Biology**.v. 45.n.5 p. 5914–5934, junho. 2023.
- GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**. v. 990, n. 1, p. 87–92, agosto. 1989.
- GHANEM, M. E.; ALBACETE, A.; MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C.; ACOSTA, M.; ROMERO-ARANDA, R.; DODD, I. C.; LUTTS, S.; PÉREZ-ALFOCEA, F. Hormonal changes during

salinity-induced leaf senescence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 11, p. 3039–3050, junho. 2008.

GOMES DO Ó, L. M.; COVA, M. A. W.; SILVA, P. C. C.; GHEYI, H. R. A. J.; AZEVEDO, A. D. D. E.; RIBAS, R. F. Aspectos bioquímicos e fluorescência da clorofila a em plantas de minimelancia hidropônica sob estresse salino. v. 26, n. 2, p. 221–239, maio. 2021.

GUL, S.; ABIDEEN, Z.; ADNAN, M. Y.; HANIF, M.; NAWAZ, M. F.; SHUMAILA; KEBLAWY, A. EL. Seaweed-derived bio-stimulant improves growth and salt tolerance of radish varieties under saline conditions. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 52, n.1, p. 1-9 setembro 2023.

GUPTA, P.; DE, B. Metabolomics analysis of rice responses to salinity stress revealed elevation of serotonin , and gentisic acid levels in leaves of tolerant varieties. **Plant Signaling & Behavior**, v. 12, n. 7, p. 1–11, abril 2017.

HASANUZZAMAN, M.; AHMED, N.; SAHA, T.; RAHMAN, M.; RAHMAN, K.; ALAM, M. M.; ROHMAN, M. M.; NAHAR, K. Exogenous salicylic acid and kinetin modulate reactive oxygen species metabolism and glyoxalase system to confer waterlogging stress tolerance in soybean (*Glycine max* L.). **Plant Stress**, v. 3, n. 5 p. 1-10, janeiro.2022.

HASSAN, A. *et al.* Foliar application of ascorbic acid enhances salinity stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modulation of morpho-physio-biochemical attributes, ions uptake, osmo-protectants and stress response genes expression. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 8, p. 4276–4290, agosto. 2021.

HERNÁNDEZ-HERRERA, R. M.; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, C. V.; PALMEROS-SUÁREZ, P. A.; OCAMPO-ALVAREZ, H.; SANTACRUZ-RUVALCABA, F.; MEZA-CANALES, I. D.; BECERRIL-ESPINOSA, A. Seaweed Extract Improves Growth and Productivity of Tomato Plants under Salinity Stress. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 1–23, setembro. 2022.

HINAI, M. S. AL; ULLAH, A.; AL-RAJHI, R. S.; FAROOQ, M. Proline accumulation, ion homeostasis and antioxidant defence system alleviate salt stress and protect carbon assimilation in bread wheat genotypes of Omani origin. **Environmental and Experimental Botany**, v. 193, n. 1, p. 1-9, novembro 2021.

HODGES, D. M.; ANDREWS, C. J.; JOHNSON, D. A.; HAMILTON, R. I. Antioxidant enzyme responses to chilling stress in differentially sensitive inbred maize lines. **Journal of Experimental Botany**. v. 48, n. 5 p. 1105–1113, maio. 1997.

HUNTER, M. C.; SMITH, R. G.; SCHIPANSKI, M. E.; ATWOOD, L. W.; MORTENSEN, D. A. Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification. **BioScience**, v. 7, n. 4, p. 386-391. Abril. 2017.

ISAYENKOV, S. V.; MAATHUIS, F.J.M. Plant Salinity Stress : Many Unanswered Questions Remain. **Frontiers in Plant Science**. v. 10, n.80. p. 1-11. Fevereiro, 2019.

ISLAM, A. T. M. T.; KOEDSUK, T.; ULLAH, H.; TISARUM, R.; JENWEERAWAT, S.; CHA-UM, S.; DATTA, A. South African Journal of Botany Salt tolerance of hybrid baby corn

genotypes in relation to growth , yield , physiological , and biochemical characters. **South African Journal of Botany**, v. 147, n. 2022, p. 808–819, março. 2022.

JACOMASSI, L. M.; VIVEIROS, J. DE O.; OLIVEIRA, M. P.; MOMESSO, L.; SIQUEIRA, G. F. DE; CRUSCIOL, C. A. C. A Seaweed Extract-Based Biostimulant Mitigates Drought Stress in Sugarcane. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 1, p.1-15. abril, 2022.

JOSEPH, J.; LUCINI, L.; JOTHIRAMSHEKAR, S.; PARIDA, A. Plant Physiology and Biochemistry Metabolomic insights into the mechanisms underlying tolerance to salinity in different halophytes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 135, n. 8, p. 528–545, Agosto. 2019.

KARLIDAG, H.; YILDIRIM, E.; TURAN, M. Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria×ananassa*). **Scientia Horticulturae**, v. 130, n. 1, p. 133–140, agosto 2011.

KARTHIK, S.; PAVAN, G.; KRISHNAN, V.; SATHISH, S.; MANICKAVASAGAM, M. Sodium nitroprusside enhances regeneration and alleviates salinity stress in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 19, n.4, p. 101-173, agosto. 2018

KASIM, W. A.; GAAFAR, R. M.; ABOU-ALI, R. M.; OMAR, M. N.; HEWAIT, H. M. Effect of biofilm forming plant growth promoting rhizobacteria on salinity tolerance in barley. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 61, n. 2, p. 217–227, dezembro. 2016.

KAUSHAL, N.; GUPTA, K.; BHANDHARI, K.; KUMAR, S.; THAKUR, P.; NAYYAR, H. Proline induces heat tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants by protecting vital enzymes of carbon and antioxidative metabolism. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 17, n. 3, p. 203–213, julho. 2011.

KHATRI, K.; RATHORE, M. S. Salt and osmotic stress-induced changes in physio-chemical responses, PSII photochemistry and chlorophyll a fluorescence in peanut. **Plant Stress**, v. 1, n.3, p. 1-15, janeiro. 2022.

KILLI, D.; HAWORTH, M. Diffusive and metabolic constraints to photosynthesis in quinoa during drought and salt stress. **Plants**, v. 6, n. 49, p.1-15. setembro 2017.

KRISHNAMURTHY, S. L.; GAUTAM, R. K.; SHARMA, P. C.; SHARMA, D. K. Field Crops Research Effect of different salt stresses on agro-morphological traits and utilisation of salt stress indices for reproductive stage salt tolerance in rice. **Field Crops Research**, v. 190, n.1 p. 26–33, fevereiro 2016.

KUMARI, S.; CHHILLAR, H.; CHOPRA, P.; KHANNA, R. R.; KHAN, M. I. R. Potassium: A track to develop salinity tolerant plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 167, n. 9, p. 1011–1023, setembro 2021.

KUMARI, R.; BHATNAGAR, S.; DEEPALI; MEHLA, N.; VASHISTHA, A. “Potential of organic amendments (AM fungi, PGPR, vermicompost and seaweeds) in combating salt stress – A review. **Plant Stress**. v. 6. n.1, p.100-111, dezembro. 2022.

- KUMARIA, A.; PARIDA, A. K. Metabolomics and network analysis reveal the potential metabolites and biological pathways involved in salinity tolerance of the halophyte *Salvadora persica*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 148, n.1 p. 85–99 setembro 2017.
- KUTLU, I.; GULMEZOGLU, N. Suitable Humic Acid Application Methods to Maintain Physiological and Enzymatic Properties of Bean Plants Under Salt Stress. **Gesunde Pflanzen**. v.75, n.1, p. 1075–1086, outubro 2023.
- LARIBI, B.; ANNABI, H. A.; BETTAIEB, T. Effects of *Ulva intestinalis* (Linnaeus) seaweed liquid extract on plant growth, photosynthetic performance and water status of two hydroponically grown Lamiaceae species: Peppermint (*Mentha × piperita* L.) and purple basil (*Ocimum basilicum* var. *purpurascens* Benth.). **South African Journal of Botany**, v. 158, n.1 p. 63–72, julho. 2023.
- LI, M.; KIM, C. Chloroplast ROS and stress signaling. **Plant Communications**. **Cell Press**. v. 3, n. 1, p. 2590-3462, janeiro 2022.
- LIU, L.; SHAO, Z.; ZHANG, M.; WANG, Q. Regulation of carotenoid metabolism in tomato. **Molecular Plant**, v. 8, n. 1, p. 28–39, janeiro 2015.
- LLANES, A.; ARBONA, V.; GOMEZ-CADENAS, A.; LUNA, V. Metabolomic profiling of the halophyte *Prosopis strombulifera* shows sodium salt-specific response. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 108, n.1, p. 145–157, julho 2016.
- LOUDARI, A.; LATIQUE, S.; MAYANE, A.; COLINET, G.; OUKARROUM, A. Polyphosphate fertilizer impacts the enzymatic and non-enzymatic antioxidant capacity of wheat plants grown under salinity. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 1-12 dezembro. 2023.
- LUPO, Y.; PRASHANTH, K.; LAZAROVITCH, N.; FAIT, A.; RACHMILEVITCH, S. Importance of leaf age in grapevines (*Vitis* spp.) under salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 321, n.1, p.1-10. novembro 2023.
- MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization **Horticulturae**, v. 3, n. 30, p. 1-13, maio. 2017.
- MARIANI, L.; FERRANTE, A. Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses—drought, salinity, hypoxia, and lodging. **Horticulturae**, v. 3, n. 52, p. 1-18. dezembro. 2017.
- 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. p. 1–23, 1992.
- METHENNI, K.; BEN, M.; NOUAIRI, I.; SMAOUI, A.; ZARROUK, M.; BEN, N. Salicylic acid and calcium pretreatments alleviate the toxic effect of salinity in the Oueslati olive variety. **Scientia Horticulturae**, v. 233, n. 1, p. 349–358, janeiro. 2018.
- MOURA, R. DOS S.; SOARES, T. L.; LIMA, L. K. S.; GHEYI, H. R.; JESUS, O. N.; COELHO FILHO, M. A. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of *Passiflora edulis* Sims plants propagated by different methods. **Archives of**

Agronomy and Soil Science, v. 66, n. 12, p. 1692–1706, outubro. 2020.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 2, p. 239–250, fevereiro. 2002.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: Bringing them together. **New Phytologist**, v. 167, n. 3, p. 645–663, maio. 2005.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n.1 p. 651–681, Fevereiro. 2008.

MUNNS, R.; GILLIHAM, M.; MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops – what is the cost?. **Tansley insight**. v. 208. n. 1. p. 668-673. abril. 2015.

MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; NARDI, S. Humic substance: Relationship between structure and activity. deeper information suggests univocal findings. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 129, n. 3. p. 57–63, junho. 2013.

NAEEM, M.; IQBAL, M.; SHAKEEL, A.; UL-ALLAH, S.; HUSSAIN, M.; REHMAN, A.; ZAFAR, Z. U.; ATHAR, H. UR R.; ASHRAF, M. Genetic basis of ion exclusion in salinity stressed wheat: implications in improving crop yield. **Plant Growth Regulation**, v. 92, n. 3, p. 479–496, setembro. 2020.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867–880, agosto. 1981.

NIGAM, B.; DUBEY, R. S.; RATHORE, D. Protective role of exogenously supplied salicylic acid and PGPB (*Stenotrophomonas* sp.) on spinach and soybean cultivars grown under salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 293, n. 1, p. 1-15, fevereiro. 2022.

PARIDA, A.; DAS, A. B.; DAS, P. NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. **Journal of Plant Biology**, v. 45, n. 1, p. 28–36, março. 2002.

PIRSON, A.; ZIMMERMANN, M. H. **Physiological Plant Ecology II**. v.12b, n. 1, p. 12-750. Dezembro 1982.

QADIR, M.; GHAFOOR, A. Amelioration strategies for saline soils : A review. *Land Degradation & Development*. v. 11, n.6, p. 501-521. novembro. 2001.

RADY, M. M.; DESOKY, E. S. M.; ELRYS, A. S.; BOGHDADY, M. S. Can licorice root extract be used as an effective natural biostimulant for salt-stressed common bean plants? **South African Journal of Botany**, v. 121, n.1, p. 294–305, março 2019.

RADY, M. M.; MOSSA, A. T. H.; YOUSSEF, A. M. A.; SH. OSMAN, A.; AHMED, S. M. A.; MOHAMED, I. A. A. Exploring the reinforcing effect of nano-potassium on the antioxidant defense system reflecting the increased yield and quality of salt-stressed squash plants. **Scientia Horticulturae**, v. 308, n. 8.p. 111-609, agosto. 2023.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. Uso de águas salinas para produção

agrícola. Campina Grande: UFPB.. **Estudos da FAO**, Irrigação e Drenagem. P. 117, 2000

RICCI, M.; TILBURY, L.; DARIDON, B.; SUKALAC, K. General Principles to Justify Plant Biostimulant Claims. v. 10, n.10, p. 1–8, abril. 2019.

RODRÍGUEZ, P.; TORRECILLAS, A.; MORALES, M. A.; ORTUÑO, M. F.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscus maritimus* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 53, n. 2, p. 113–123, março 2005.

DO ROSÁRIO. R.; FARIAS DOS SANTOS, A. L.; ALVES DA SILVA, A.; PEDUTI VICENTINI SAB, M.; GERMINO, G. H.; BARCELLOS CARDOSO, F.; ALMEIDA SILVA, M. DE. Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant based on fulvic acids and *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, n. 1, p. 228–243, janeiro. 2020.

SADAK, M. S.; DAWOOD, M. G. Biofertilizer Role in Alleviating the Deleterious Effects of Salinity on Wheat Growth and Productivity. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, n. 4, p. 1207–1219, agosto. 2023.

SADAK, M. S.; SEKARA, A.; AL-ASHKAR, I.; HABIB-UR-RAHMAN, M.; SKALICKY, M.; BRESTIC, M.; KUMAR, A.; SABAGH, A. EL; ABDELHAMID, M. T. Exogenous aspartic acid alleviates salt stress-induced decline in growth by enhancing antioxidants and compatible solutes while reducing reactive oxygen species in wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 1, p. 1-20. outubro, 2022.

SAFDAR, H.; AMIN, A.; SHAFIQ, Y.; ALI, A.; YASIN, R. Impact of salinity on plant growth:A review: **Nature and Science**, v. 17, n. 1, p. 34–40, novembro 2019.

SAHAB, S.; SUHANI, I.; SRIVASTAVA, V.; SINGH, P.; PRATAP, R.; PRASAD, V. Science of the Total Environment Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability : Current status and management strategies. **Science of the Total Environment**, v. 764, n.1, p. 144-164, janeiro. 2021.

SANTANIELLO, A.; SCARTAZZA, A.; GRESTA, F.; LORETI, E.; BIASONE, A.; TOMMASO, D. DI; PIAGGESI, A.; PERATA, P. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 8, p. 1–15, agosto. 2017.

SARABI, B.; BOLANDNAZAR, S.; GHADERI, N.; GHASHGHAIE, J. Genotypic differences in physiological and biochemical responses to salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.) plants: Prospects for selection of salt tolerant landraces. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 119, n.1, p. 294–311, junho. 2017.

SARKER, U.; OBA, S. The Response of Salinity Stress- Induced *A. tricolor* to Growth, Anatomy, Physiology, Non-Enzymatic and Enzymatic Antioxidants. **Frontiers in Plant Science** v. 11, n.1, p. 1–14, outubro. 2020.

SEYMEN, M.; YAVUZ, D.; ATAKUL, Z.; ISSI, N.; EROĞLU, S.; TANRIVERDI, Ö. B. Effects of Different Levels of Water Salinity on Plant Growth , Biochemical Content , and

Photosynthetic Activity in *Cabbage Seedling* Under Water-Deficit Conditions. v. 75, n.1, p. 871–884, dezembro. 2022.

SHABALA, S. Learning from halophytes: Physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. **Annals of Botany**, v. 112, n. 7, p. 1209–1221, junho. 2013.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, n.4, p. 1–26, abril. 2012.

SHARMA, S.; CHEN, C.; KHATRI, K.; RATHORE, M. S.; PANDEY, S. P. Plant Physiology and Biochemistry Gracilaria dura extract confers drought tolerance in wheat by modulating abscisic acid homeostasis. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 136, n. 3, p. 143–154, janeiro 2019.

SHARMA, S.; KAUR, M.; GOYAL, R.; GILL, B. S. Physical characteristics and nutritional composition of some new soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 3, p. 551–557, março. 2014.

SHELDON, A. R.; DALAL, R. C.; KIRCHHOF, G.; KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W. The effect of salinity on plant-available water. v.418. n. 6, p. 477–491, junho. 2017.

SHUKLA, P. S.; SHOTTON, K.; NORMAN, E.; NEILY, W.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. **AoB PLANTS**, v. 10, n. 1, p. 1–8, março. 2017.

SINGH, A. Soil salinization management for sustainable development : A review. **Journal of Environmental Management**, v. 277, n.1, p. 111-383, maio. 2021.

SINGH, M.; KUMAR, J.; SINGH, S.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 407–426, julho. 2015.

SINGH, P.; KRISHNASWAMY, K. Sustainable zero-waste processing system for soybeans and soy by-product valorization. **Trends in Food Science and Technology**, v. 128, n.8, p. 331–344, agosto. 2022.

SITOHY, M. Z.; DESOKY, E. S. M.; OSMAN, A.; RADY, M. M. Pumpkin seed protein hydrolysate treatment alleviates salt stress effects on *Phaseolus vulgaris* by elevating antioxidant capacity and recovering ion homeostasis. **Scientia Horticulturae**, v. 271, n. 5, p. 109495, maio. 2020.

SOLTYS-KALINA, D.; PLICH, J.; STRZELCZYK-ŻYTA, D.; ŚLIWKA, J.; MARCZEWSKI, W. The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of ‘Katahdin’-derived potato cultivars. **Breeding Science**, v. 66, n. 2, p. 328–331, abril. 2016.

SUHANI, I.; MAHAJAN, M.; VAISH, B.; SINGH, P. Restoration of Wetland Ecosystem : A Trajectory Towards a Sustainable Environment. **Springer**. v. 13, n. 8, p. 1-227. Janeiro.2020

SURESH KUMAR, K.; DAHMS, H. U.; LEE, J. S.; KIM, H. C.; LEE, W. C.; SHIN, K. H. Algal photosynthetic responses to toxic metals and herbicides assessed by chlorophyll a fluorescence. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 104, n. 1, p. 51-71, Janeiro. 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E; MØLLER, I.A; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal - 6ª Edição** – Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAYYAB, M.; WAKEEL, A.; SANAULLAH, M.; MAQSOOD, S.; BASRA, A. Physiological and biochemical characterization of sugar beet against salt-stress. *Physiological and biochemical characterization of sugar beet against salt-stress*. v. 60, n.2, p.0552-9034. Julho. 2023.

TÓFFANO PEREIRA, R. P.; GALO, N. R.; FILIMONAU, V. Food loss and waste from farm to gate in Brazilian soybean production. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 10, n.10, p. 100-431. Outubro, 2022.

ULLAH, A.; SAID, R.; RAJHI, A.; AL, A. M.; MUHAMMAD, S. Wheat Genotypes with Higher Intercellular CO₂ Concentration, Rate of Photosynthesis, and Antioxidant Potential Can Better Tolerate Drought Stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 10, p. 2378–2391, junho. 2021

WANG, X.; MENG, Z.; CHANG, X.; DENG, Z.; LI, Y.; LV, M. Determination of a suitable indicator of tomato water content based on stem diameter variation. **Scientia Horticulturae**, v. 215, n. 7, p. 142–148, jan. 2017.

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**, v.144, p.307-313; 1994.

WU, Y.; LIU, H.; BING, J.; ZHANG, G. Integrative transcriptomic and TMT-based proteomic analysis reveals the mechanism by which AtENO2 affects seed germination under salt stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 10, p. 1–18, outubro, 2022.

YAGHOUBIAN, I.; ALI, S.; MODARRES-SANAVY, M.; SMITH, D. L. Plant Physiology and Biochemistry Plant growth promoting microorganisms (PGPM) as an eco-friendly option to mitigate water deficit in soybean (*Glycine max L.*): Growth, physio-biochemical properties and oil content. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 191, n. 3. p. 55–66, março, 2022.

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, n.1, p.1-32. Janeiro. 2017.

YU, J.; BI, X.; YU, B.; CHEN, D. Isoflavones: Anti-inflammatory benefit and possible caveats. **Nutrients**, v. 8, n. 6, p. 1–16, junho. 2016.

ZAHRA, N.; HINAI, M. S. AL; HAFEEZ, M. B.; REHMAN, A.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M.; FAROOQ, M. Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 178, n.3, p. 55–69, fevereiro. 2022.

ZHOU, H.; XU, L. Salt tolerance of two different varieties of tobacco under NaCl stress. **Research Square**. v. 1, n.1,p. 1–27, junho. 2023.

ZHOU, W.; ZHENG, W.; WANG, W.; LV, H.; LIANG, B.; LI, J. Exogenous pig blood-derived protein hydrolysates as a promising method for alleviation of salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 294, n. 7, p. 110-779, Agosto. 2021

ZUZUNAGA-ROSAS, J.; GONZÁLEZ-ORENGA, S.; CALONE, R.; RODRÍGUEZ-HEREDIA, R.; ASAFF-TORRES, A.; BOSCAIU, M.; IBÁÑEZ-ASENSIO, S.; MORENO-RAMÓN, H.; VICENTE, O. Use of a Biostimulant to Mitigate the Effects of Excess Salinity in Soil and Irrigation Water in Tomato **Plants**. v. 12, n. 5, p. 1190 março. 2023.