



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

CAROLINA SOUZA DE CASTRO

BIOCHAR DA CASCA DE COCO VERDE COMO ATENUADOR DO ESTRESSE
SALINO EM SOJA

FORTALEZA

2021

CAROLINA SOUZA DE CASTRO

BIOCHAR DA CASCA DE COCO VERDE COMO ATENUADOR DO ESTRESSE
SALINO EM SOJA

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

Orientadora: Prof. Dra. Rosilene Oliveira
Mesquita
Coorientador: Me. Johny de Souza Silva

FORTALEZA

2021

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

- C35b Castro, Carolina Souza de.
Biochar da casca de coco verde como atenuador do estresse salino em soja / Carolina Souza de Castro. –
2021.
71 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.
Coorientação: Prof. Me. Johny de Souza Silva.
1. Glycine max. 2. Parâmetros fisiológicos. 3. Salinidade. 4. Resíduos da agricultura. I. Título.
CDD 630
-

CAROLINA SOUZA DE CASTRO

BIOCHAR DA CASCA DE COCO VERDE COMO ATENUADOR DO ESTRESSE
SALINO EM SOJA

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

Aprovada em: 22/07/2021.

BANCA EXAMINADORA

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

Me. Johny de Souza Silva (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Adriana Guirado Artur
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Analya Roberta Fernandes Oliveira

A Deus.

Aos meus pais, Cida e Camilo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus.

Gostaria de agradecer a minha família por todo o apoio, principalmente a minha mãe, Cida, que sempre esteve do meu lado durante esses cinco anos de graduação.

Agradeço a minha cachorra Luna que, todo dia que eu chegava exausta da UFC, me recebia alegremente.

Agradeço aos amigos que ganhei durante a graduação pois o apoio deles durante todo esse momento foi muito importante, em especial Antônio, Bruna, Sabrina, Ingrid, Jéssica, Ronaldo e Felipe.

Agradeço ao PET Agronomia UFC por ter contribuído para eu me tornar o que eu sou hoje. Além disso, as amigadas que construí no programa foram de muita valia para a minha vida, meus mais sinceros muito obrigada! Espero encontrar vocês todo ano no famoso encontro dos “PETssauros”!

Agradeço a todos os monitores que me ajudaram durante esses anos. A bolsa da monitoria é extremamente importante! Não aos cortes na educação.

Agradeço a todos os outros grupos que eu pude fazer parte durante a graduação e que contribuíram para o meu desenvolvimento: NEEF, LabFrutos, GEPEEN, GEPE Solos e LEA. Meus mais sinceros muito obrigada!

Agradeço a todos os professores que eu tive na graduação, especialmente ao professor Wagner Melo, por ter me ajudado nesse período final com a confecção dos meus gráficos. Ao professor Raul Shiso que foi muito mais do que só um orientador para mim nessa graduação, obrigada professor! Ao professor Patrik Pastori, que foi meu último orientador na graduação, através do estágio, e que dá realmente o sentido a palavra “orientar”, meus mais sinceros muito obrigada! A professora Mirian que também se prontificou a me ajudar, mesmo que de última hora, muito obrigada. Ao professor Ervino que, apesar de duro, sempre foi uma figura a qual eu conseguia obter conforto, tanto nas suas palavras quanto nos seus ensinamentos. Obrigada por “ter pegado tanto no meu pé”, professor.

Queria agradecer, em especial, a professora Rosilene Mesquita, não só por ter sido minha tutora do PET, mas por ter aceitado ser minha orientadora e ter me ajudando tanto durante a realização do TCC, principalmente devido as limitações dada à pandemia do corona vírus. Meus mais sinceros muito obrigada!

Queria agradecer especialmente a Sabrina, Isabele e ao Pedro, pelo apoio incondicional durante esses últimos dias de finalização do TCC.

Por fim, gostaria de agradecer aqueles que estiveram diretamente relacionados ao desenvolvimento do meu TCC: Rafael, Analya, Johny, Lucas, Tomil e, especialmente, a Bruna e a professora Rosilene Mesquita.

“Se você só fizer o que sabe, nunca será nada além do que já é.”

Mestre Shifu – Kung Fu Panda 3

RESUMO

A salinidade é um dos problemas que mais assola as terras agricultáveis do mundo, comprometendo seriamente as produções agrícolas. Dessa forma, é importante achar meios de recuperar ou manejar esses solos afetados por sais. Nessa perspectiva, o biochar de diferentes resíduos vem sendo utilizado como condicionador de solo e, devido a melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, vem apresentando eficiência na mitigação dos efeitos deletérios da salinidade em algumas culturas. Nesse sentido, o objetivo com esse trabalho foi avaliar o efeito do biochar de casca de coco verde como mitigador dos efeitos da salinidade na cultura da soja. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2x4 com o primeiro fator correspondendo a condutividade elétrica da água de irrigação (estresse salino a 5 dS m^{-1} e controle sem estresse a $0,52 \text{ dSm}^{-1}$) e o segundo fator as quatro doses de biochar (0, 0,5, 0,75 e 1% p/p). O biochar não afetou positivamente crescimento das plantas submetidas ao estresse, sendo, ainda, prejudicial a algumas variáveis em doses elevadas. No entanto, a dose 0,5% foi promissora ao melhorar os parâmetros fisiológicos da cultura, tais como fotossíntese, condutância estomática e fluorescência da clorofila *a* (como F_v/F_m , ETR, ϕFSII e qP). Além disso, apresentou resultados positivos no ajustamento osmótico, e aumentou os teores de K^+ nas plantas, reduzindo a relação Na^+/K^+ no tratamento com estresse. Tais resultados refletiram numa maior partição de matéria seca para as vagens com o incremento da dose de biochar. Em doses muito elevadas, o biochar da casca de coco verde foi prejudicial para os parâmetros fisiológicos das plantas sem estresse, no entanto, não afetou negativamente o crescimento da cultura nem a produção. Portanto, a utilização do biochar da casca de coco verde pode ser promissora para atenuar os efeitos deletérios da salinidade, sendo a dose de 0,50% a mais indicada de acordo com os resultados desse trabalho, no entanto, mais estudos a longo prazo são necessários.

Palavras-chave: *Glycine max*, Parâmetros fisiológicos, Resíduos da agricultura, Salinidade.

ABSTRACT

Salinity is one of the problems that most affects arable land in the world, seriously compromising agricultural production. Therefore, it is important to find ways to recover or manage these salt-affected soils. In this perspective, biochar from different residues has been used as a soil conditioner and, due to improvements in the physical, chemical and biological properties of the soil, it has shown efficiency in mitigating the harmful effects of salinity in some crops. In this sense, the objective of this work was to evaluate the effect of green coconut husk biochar as a mitigation of the effects of salinity in the soybean crop. The design used was completely randomized in a 2x4 factorial arrangement with the first factor corresponding to the electrical conductivity of the irrigation water (saline stress at 5 dS m⁻¹ and stress-free control at 0,52 dSm⁻¹) and the second factor the four doses of biochar (0, 0.5, 0.75 and 1% w/w). Biochar did not positively affect the growth of plants subjected to stress, being also harmful to some variables at high doses. However, the 0.5% dose was promising in improving the physiological parameters of the crop, such as photosynthesis, stomatal conductance and chlorophyll a fluorescence (such as Fv/Fm, ETR, ϕ FSII and qP). Furthermore, it showed positive results in the osmotic adjustment, and increased the K⁺ contents in the plants, reducing the Na⁺/K⁺ ratio in the stress treatment. These results reflected in a greater partition of dry matter for the pods with the increment of the biochar dose. However, at very high doses, green coconut husk biochar was harmful to the physiological parameters of plants without stress, however, it did not negatively affect crop growth or yield. Therefore, the use of green coconut shell biochar may be promising to mitigate the harmful effects of salinity, with the dose of 0.50% being the most indicated according to the results of this work, however, more long-term studies are necessary.

Keywords: Glycine max, Physiological parameters, Agricultural waste, Salinity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Casa de vegetação localizada no Campus do Pici, no setor de Agricultura da Universidade Federal do Ceará na cidade de Fortaleza, Ceará	29
Figura 2	- Casca de coco verde (A), cascas após cortadas e secas em estufa (B) e produto final da pirólise lenta após moído e peneirado (biochar) (C).....	30
Figura 3	- Processo de pesagem do solo (A), mistura do biochar + solo + adubos (B) e processo de incubação do biochar (C).....	32
Figura 4	- Antes do desbaste (A) e após o desbaste (B).....	33
Figura 5	- Acompanhamento da temperatura e umidade relativa do ar, na casa de vegetação, localizada no Campus do Pici, da Universidade Federal do Ceará, na cidade de Fortaleza-CE, durante o mês de março de 2021.....	34
Figura 6	- Aclimatação no escuro das folhas (A) e medição da fluorescência da clorofila <i>a</i> com o equipamento IRGA (B).....	36
Figura 7	- Determinação dos teores de Na ⁺ e K ⁺ pelo método de fotometria de chama.....	38
Figura 8	- Número de folhas (A), diâmetro do caule (B), comprimento da raiz (C) e volume da raiz (D) de plantas de soja cultivadas sob irrigação salina e não salina. Letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. As barras representam o erro padrão.....	40
Figura 9	- Raízes de plantas de soja submetidas a distintas salinidades e doses (D) de biochar de casca de coco verde. T1: Com estresse + 0%; T2: Sem estresse + 0%; T3: Com estresse + 0,50%; T4: Sem estresse + 0,50%; T5: Com estresse + 0,75%; T6: Sem estresse + 0,75%; T7: Com estresse + 1%; T8: Sem estresse + 1%.....	40
Figura 10	- (A) Altura de plantas, (B) área foliar (AF), (C) área foliar específica (AFE) e (D) razão de área foliar (RAF) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.....	42
Figura 11	- Altura de plantas de soja submetidas a distintas salinidades e doses (D) de biochar de casca de coco verde. T1: Com estresse + 0%; T2: Sem estresse + 0%; T3: Com estresse + 0,50%; T4: Sem estresse + 0,50%; T5: Com estresse + 0,75%; T6: Sem estresse + 0,75%; T7: Com estresse + 1%; T8: Sem estresse + 1%.....	42

Figura 12	Massa seca da parte aérea (MSPA) e razão raiz/parte aérea de plantas de soja cultivadas com estresse e sem estresse salino e diferentes doses de biochar de casca de coco verde. Letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. As barras representam o erro padrão.....	44
Figura 13	– (A) Partição da biomassa de plantas soja e (B) razão da massa das vagens de plantas de soja submetidas a irrigação salina e não salina com diferentes doses de biochar da casca de coco verde. As letras estão fazendo comparações ao fator salinidade, onde letras distintas diferem estatisticamente entre si e ns não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey a 1% de probabilidade. Os ** representam a significância no fator doses. Em que: CE= com estresse e SE = sem estresse e os valores representam as doses do biochar.....	45
Figura 14	– (A) Fotossíntese líquida (A), (B) taxa de transpiração (E), (C) condutância estomática (g_s), (D) razão entre concentração interna e externa de CO ₂ (C_i/C_a), (E) eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e (F) eficiência intrínseca do uso da água (EUA int.) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.....	47
Figura 15	(A) Eficiência fotoquímica potencial do FSII (F_v/F_m), (B) rendimento quântico efetivo do PSII (ϕ_{FSII}), (C) <i>quenching</i> fotoquímico (qP), (D) <i>quenching</i> não-fotoquímico (qN), (E) coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ) e (F) taxa de transporte de elétrons (ETR), em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde.....	50
Figura 16	– (A) Clorofila <i>a</i> , (B) clorofila total e (C) índice relativo de clorofila (IRC) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde.....	52
Figura 17	– Teor relativo de água (TRA) e potencial osmótico (Ψ_s) na folha, em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde.....	54
Figura 18	– (A) Teor de Na ⁺ , (B) Teor de K ⁺ e (C) relação Na ⁺ /K ⁺ nas folhas, em plantas em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade	

	(S) e doses de biochar de casca de coco verde (D).....	55
Figura 19	– (A) Número de vagens, (B) comprimento de vagens (cm) e (C) massa seca de vagens (g) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde. Letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tuckey a 1% de probabilidade. As barras representam o erro padrão.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos estádios vegetativo (V) e reprodutivo (R) da cultura da soja.....	22
Tabela 2 – Características químicas do solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, antes da aplicação do biochar.....	29
Tabela 3 – Características químicas do biochar de casca de coco verde.....	31
Tabela 4 – Resumo da análise de variância para as variáveis altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR), volume da raiz (VR), área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde....	39
Tabela 5 – Resumo da análise de variância para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), razão raiz parte aérea (R/PA), razão da massa foliar (RMF), razão da massa do caule (RMC), razão da massa da raiz (RMR) e razão da massa das vagens (RMC) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.....	43
Tabela 6 – Resumo da análise de variância para as variáveis fotossintética líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração ($E - \text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), razão entre concentração interna e externa de CO_2 ($C_i/C_a - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), eficiência instantânea de carboxilação (E_iC), eficiência instantânea do uso da água (EUA inst.) e eficiência intrínseca do uso da água (EUA int.) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.....	46
Tabela 7 – Resumo da análise de variância para as variáveis eficiência fotoquímica potencial do FSII (F_v/F_m), rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{FSII}) <i>quenching</i> fotoquímico (qP), <i>quenching</i> não-fotoquímico (qN), coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ), e taxa de transporte de elétrons (ETR) em plantas de soja submetidas a condições de salinidade (S) e doses	49

(D) de biochar de casca de coco verde.....	
Tabela 8 – Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> , clorofila total, carotenoides e índice relativo de clorofila (IRC) em plantas de soja, submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde.....	52
Tabela 9 – Resumo da análise de variância para as variáveis número de vagens (NV), comprimento de vagens (CV), número de lóculos (NL) e massa seca das vagens (MSV) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Taxa fotossintética líquida
AF	Área foliar
AFE	Área foliar específica
AP	Altura de plantas
CE	Condutividade elétrica
Ci/Ca	Razão entre concentração interna e externa de CO ₂
CO ₂	Gás carbônico
CR	Comprimento da raiz
CRA	Capacidade de retenção de água.
CTC	Capacidade de troca de cátions
DAS	Dias após semeadura
DC	Diâmetro do caule
DMSO	Dimetilsulfóxido
<i>E</i>	Taxa de transpiração
EiC	Eficiência instantânea de carboxilação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETR	Taxa de transporte de elétrons
EUA inst.	Eficiência instantânea do uso da água
EUA intr.	Eficiência do uso da água intrínseca
F ₀	Fluorescência mínima
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
Fv/Fm	Eficiência fotoquímica potencial do PSII
<i>g_s</i>	Condutância estomática
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRC	Índice relativo de clorofila
IRGA	Analisador de gás por infravermelho
kg	Quilograma
L	Litro
m	Metro
mg	Miligrama
mmol	Milimol

mmolc	Milimol por centimol de carga
MO	Matéria orgânica
MPa	Megapascal
MS	Massa seca
MSC	Massa seca do caule
MSF	Massa seca de folhas
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
MST	Massa seca total
MSV	Massa seca das vagens
MT	Massa túrgida
NF	Número de folhas
NL	Número de lóculos
NPQ	Coefficiente de extinção não-fotoquímico
NV	Número de vagens
p/p	peso/peso
pH	Potencial hidrogeniônico
PSII	Fotossistema dois
PST	Porcentagem de sódio trocável
qN	<i>quenching</i> não-fotoquímico
qP	<i>quenching</i> fotoquímico
R/PA	Razão raiz/parte aérea
RAF	Razão de área foliar
RMC	Razão da massa do caule
RMF	Razão da massa foliar
RMR	Razão da massa da raiz
RMV	Razão da massa das vagens
s	Segundos
SB	Soma de bases
TRA	Teor relativo de água
UFC	Universidade Federal do Ceará
V	Saturação por bases
VR	Volume da raiz

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
Ca ²⁺	Cálcio
dm	Decímetros
dS	Decisiemens
g	Gramma
K ⁺	Potássio
Mg ²⁺	Magnésio
Na ⁺	Sódio
°C	Graus celsius
ϕ FSII	Rendimento quântico efetivo do PSII
μ	Mícro
Ψ_s	Potencial osmótico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	A cultura da soja.....	16
2.2	Estresse salino	18
2.3	Casca de coco verde.....	19
2.4	Biochar.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1	Caracterização do local do experimento.....	21
3.2	Caracterização do solo.....	22
3.3	Obtenção e caracterização do biochar da casca de coco verde.....	22
3.4	Material vegetal utilizado e tratamentos.....	23
3.5	Homogeneização e incubação do biochar ao solo.....	24
3.6	Condução do experimento.....	24
3.7	Análise de crescimento.....	26
3.8	Caracterização fisiológica.....	27
3.8.1	<i>Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a</i>	27
3.8.2	<i>Pigmentos fotossintéticos e índice relativo de clorofilas</i>	28
3.8.3	<i>Teor relativo de água (TRA) e potencial osmótico (Ψ_s)</i>	29
3.9	Solutos inorgânicos.....	29
3.10	Variáveis de produção.....	29
3.11	Análise estatística.....	30
4	RESULTADOS	31
4.1	Análise de crescimento.....	31
4.2	Caracterização fisiológica.....	36
4.2.1	<i>Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a</i>	36
4.2.2	<i>Pigmentos fotossintéticos e índice relativo de clorofilas</i>	42
4.2.3	<i>Teor relativo de água (TRA) e potencial osmótico (Ψ_s)</i>	43
4.3	Solutos inorgânicos.....	44
4.4	Variáveis de produção.....	46
5	DISCUSSÃO.....	48
6	CONCLUSÃO.....	54

REFERÊNCIAS	55
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Os solos afetados por sais, fenômeno crescente em todo o mundo, se formam em solos com drenagem imperfeita e se caracterizam por apresentar sais solúveis e/ou sódio trocável acima do limite tolerável pelas plantas (RIBEIRO *et al.*, 2016). A FAO estima que há 34 milhões de hectares afetados por algum nível de salinidade, representando 11% da área irrigada (UNITED NATIONS, 2011). No Brasil, os solos afetados por sais podem ser encontrados no Rio Grande do Sul, no Pantanal Mato-Grossense e, predominantemente, no Semiárido Nordeste (RIBEIRO *et al.*, 2016).

A causa da salinização do solo pode ser tanto natural, por meio do seu processo de intemperismo ocorrendo a liberação de sais, ou antrópica, causada pela irrigação, adubação mineral e outros fatores. No entanto, o que mais afeta a agricultura são as áreas salinizadas pela ação antrópica (CAVALCANTE *et al.*, 2016).

Os solos afetados por sais podem ser utilizados com êxito para a produção agrícola desde que ocorra a remoção desses sais (recuperação de solos afetados por sais), ou pela remediação dos efeitos que esse tipo de solo pode causar nas plantas (SAIFULLAH *et al.*, 2018). Dentro das práticas de remediação dos efeitos deletérios da salinidade nas plantas, a utilização do biochar tem sido promissora (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015a; ALI *et al.*, 2017; SAIFULLAH *et al.*, 2018; THOMAS *et al.*, 2013) . O biochar pode ser obtido da pirólise de uma biomassa rica em carbono (ALI *et al.*, 2017). A pirólise, nada mais é, do que o processo da queima da matéria prima sob condições controladas do oxigênio, podendo ser totalmente ausente desse elemento.

Além de ser elucidado como um condicionador de solo, o biochar vem ganhando espaço na questão ambiental, pois atua como um excelente sequestrador de carbono (LEHMANN, 2007; LEHMANN; GAUNT; RONDON, 2006). O biochar não deve ser utilizado como nutriente para o solo, mas sim como um catalizador para o solo, aumentando a eficiência da utilização dos nutrientes (EKEBAFE; EKEBAFE; MALIKI, 2013).

O biochar pode ser produzido com matéria prima barata que está constantemente disponível em grandes quantidades (LEHMANN, 2007), como, por exemplo, resíduos da agricultura. Dentre os resíduos, tem-se a casca de coco verde, subproduto da extração da água de coco. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do censo de 2017, dos cinco estados que mais produzem coco no Brasil, três são nordestinos, sendo que o Ceará ocupa o segundo lugar, perdendo apenas para a Bahia.

O alto consumo do coco verde pode ser atribuído ao seu preço baixo e alta disponibilidade, no entanto, esse alto consumo também está atrelado a uma grande geração de resíduos (SILVA, 2014). Uma vez que 80 a 85% do peso bruto do coco verde é destinado à sua casca (ROSA *et al.*, 2002), o que torna ainda mais preocupante o descarte inadequado desse resíduo.

Além do destaque para a produção de coco no Nordeste, a região também vem expandindo bastante a produção da cultura da soja (CONAB, 2021). Segundo levantamento feito por Hirakuri (2021), os estresses bióticos e abióticos, com destaque para o estresse hídrico, foram responsáveis por uma perda econômica na faixa dos 19 bilhões para a cultura. No entanto, é interessante ressaltar que as áreas de maior expansão do cultivo da soja coincidem com as regiões de maior ocorrência de solos salinos.

Dessa forma, isso pode ser um grande problema futuro para a expansão da cultura, principalmente no Nordeste. Por isso, faz-se necessário novos estudos com práticas que possam atenuar os efeitos da salinidade, principalmente quando essa prática pode trazer benefícios ambientais. Uma vez que se baseia na reutilização de resíduos que ainda não possuem uma destinação adequada.

Nesse sentido, utilizou-se a casca de coco verde, para a produção do biochar para a aplicação em solos afetados por sais. Portanto, o objetivo com esse trabalho foi avaliar o efeito do biochar da casca de coco verde como mitigador dos efeitos deletérios da salinidade na cultura da soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta que, segundo Hymowitz (1970), teria seu primeiro centro de origem na metade oriental do norte da China e a região da Manchúria seria um segundo centro de origem da cultura. Ela pertence à família Fabaceae (leguminosas), é herbácea, anual, possui sistema radicular pivotante e quatro tipos de folhas. As suas folhas são divididas em folhas cotiledonares, folhas primárias simples ou unifolioladas, folhas trifolioladas ou compostas e uma folha denominada prófilos ou brácteas, que se encontra na base de cada ramo lateral (VERNETTI; GASTAL, 1979).

Para a identificação dos estádios vegetativo e reprodutivo da soja, é necessário que se identifique os nós, e não as folhas, pois estas não são permanentes (Tabela 1). O número de estádios vegetativos é identificado de acordo com a quantidade de nós do caule principal, começando a contar a partir das folhas unifolioladas, que têm ou tiveram uma folha totalmente desenvolvida. Uma folha só é considerada totalmente expandida quando as bordas dos folíolos da folha do nó imediatamente acima não se tocam mais. Já os estádios reprodutivos são baseados na floração, no desenvolvimento da vagem e das sementes e na maturação da planta. Como o desenvolvimento da cultura depende de diversos fatores tais como, fotoperíodo, temperatura e cultivar, existe uma variação considerável no número de dias entre os estádios para definição do seu ciclo (FEHR; CAVINESS, 1977).

Tabela 1- Descrição dos estádios vegetativo (V) e reprodutivo (R) da cultura da soja.

Estádio	Nome do estádio	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotilédone	Cotilédones completamente abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
v...
V(n)	Enésimo nó	Ante-enésima folha trifoliolada completamente

		desenvolvida
R1	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal
R2	Florescimento pleno	Uma flor aberta num dos 2 últimos nós da haste principal com folha completamente desenvolvida
R3	Início da formação da vagem	Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós da haste principal com folha completamente desenvolvida
R4	Vagem completamente Desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós da haste principal com folha completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento do grão	Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós da haste principal, com folha completamente desenvolvida
R6	Grão verde ou vagem cheia	Uma vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem de um dos 4 últimos nós da haste principal, com folha completamente desenvolvida
R7	Início da maturação	Uma vagem normal na haste principal com coloração de madura
R8	Maturação plena	95% das vagens com coloração de madura

Fonte: (NEUMAIER; FARIAS, [s.d.]

A soja é a cultura mais importante do agronegócio brasileiro, sendo observado crescimento na produção em todas as regiões do país no período de 2011 a 2020, tornando o Brasil o maior produtor mundial da cultura (HIRAKURI, 2021). No que se refere a números, a safra 2020/2021 contou com 38,5 milhões de hectares plantados, 4,2% a mais do que a safra anterior, e uma produção de 134,5 milhões de toneladas, 8,5% a mais em comparação à safra anterior (CONAB, 2021).

Alguns fatores podem ser atribuídos a essa alta demanda pela soja e incremento da produção, dentre eles, o elevado teor de proteína do grão, que atrai tanto o mercado alimentício humano, quanto o animal, seu elevado teor de óleo e o surgimento de novas tecnologias voltadas para o setor (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2010).

Quando se trata de Nordeste, as regiões que compreendem os cerrados dos estados do Piauí, Maranhão e Bahia também tiveram aumento da sua área plantada (CONAB, 2021), sendo considerados importantes para a expansão da fronteira agrícola no país e aumento da

produção de soja. Dessa forma, a implantação da cultura da soja, em novas áreas de cultivo, requer adoção de tecnologias recentes e manejo adequado devido à existência de condições edafoclimáticas específicas em cada região (PETTER *et al.*, 2014).

A soja é uma cultura considerada moderadamente tolerante a salinidade de 5 dS m⁻¹ (GRIEVE; GRATTAN; MAAS, 2012). Ainda assim, existem diversos trabalhos na literatura que demonstram que o seu rendimento é afetado drasticamente pela salinidade. Experimento em casa de vegetação, realizado por Ghassemi-Golezani *et al.* (2009) com três cultivares de soja, demonstrou que o estresse salino reduziu, consideravelmente, a duração do enchimento dos grãos, o peso dos grãos e o número de grãos por plantas, sendo essa redução maior com um aumento da salinidade. Em conformidade com o efeito negativo da salinidade na produção, Sharifi *et al.* (2007) mostraram que a salinidade reduziu o peso fresco e seco da parte aérea e da raiz de plantas de soja. Já Carvalho *et al.* (2012) constataram que o estresse salino reduziu a germinação de sementes de soja, o crescimento das plântulas e da raiz e o volume da raiz.

2.2 Estresse salino

Em regiões áridas ou semiáridas, as condições de drenagem imperfeita, associadas a baixa precipitação e alta evapotranspiração contribuem para o aumento da concentração de sais solúveis nos solos (RIBEIRO *et al.*, 2016). Logo, a qualidade da água é outro fator importante a ser considerado, principalmente quando se pode esperar problemas de salinidade em uma área irrigada (ZAMAN; SHAHID; HENG, 2018). No Semiárido Brasileiro, é comum a utilização de águas salobras para irrigação, com condutividade elétrica (CE) acima de 2 dS m⁻¹, em alternativa a escassez de água de boa qualidade nos perímetros irrigados ou áreas agrícolas (LACERDA *et al.*, 2011). O ideal é que o uso dessas águas seja para culturas que são consideradas tolerantes a salinidade (MEDEIROS *et al.*, 2016), no entanto, essa não é uma opção para o agricultor.

A salinidade no solo pode afetar as plantas tanto pela alta concentração de sais ao redor das raízes, que irá dificultar a absorção de água devido a redução do potencial osmótico e consequente redução no potencial hídrico na solução do solo (efeito osmótico), como pela alta concentração de íons dentro da planta, principalmente cloretos e sulfatos de Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ ocasionando um efeito tóxico (efeito iônico) (MUNNS; TESTER, 2008; PEDROTTI *et al.*, 2015) Além de causar o efeito tóxico, a absorção dos íons cloretos e sulfatos de Na⁺, Ca²⁺

e Mg^{2+} em excesso, pode acarretar mudanças na capacidade da planta de absorver, transportar e utilizar os íons essenciais ao seu crescimento (CARILLO *et al.*, 2019).

Esse efeito tóxico pode resultar na senescência prematura das folhas mais velhas, reduzindo a capacidade de fotoassimilação da planta, o que limitaria o seu crescimento (MUNNS, 2002). Uma alternativa que a planta encontra para superar esse decréscimo no potencial hídrico é reduzindo sua condutância estomática (fechando seus estômatos) para reduzir a evapotranspiração, entretanto, ao fechar os estômatos, a planta também reduz o influxo de CO_2 , comprometendo a fotossíntese e seu crescimento (TAIZ *et al.*, 2017).

A aplicação de resíduos orgânicos em solos salinos é capaz de remediar os efeitos deletérios da salinidade ao proporcionar melhorias para as culturas (SRIVASTAVA *et al.*, 2016) e para as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (LAX *et al.*, 1994; TEJADA *et al.*, 2006). Justificando, dessa forma, a utilização da casca de coco verde como biochar, como forma de tentar remediar os efeitos da salinidade na cultura da soja.

2.3 Casca de coco verde

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) de 2019, o Brasil ocupa a quinta colocação entre os maiores produtores de coco, com uma fatia de 3,9% da produção total, com 2,33 milhões de toneladas produzidas, atrás apenas de Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanka. O Brasil, entretanto, ainda de acordo com a FAO (2019), possui a maior produtividade comparada aos principais produtores, rendendo mais de 8 mil frutos por hectare.

O Nordeste brasileiro é o grande destaque na produção nacional, com 1,13 bilhão de frutos colhidos do total de 1,55 bilhão de todo o país em 2019, segundo dados do IBGE (2017). Já o Sudeste e o Norte ocupam o segundo e terceiro lugares, respectivamente, com 216 milhões e 185 milhões de frutos colhidos. Em termos de produtividade, o Sudeste está à frente, com 15 mil frutos por hectare, seguido pelo Centro-Oeste, com 11,8 mil e Norte, com 9,9 mil (IBGE, 2017).

Esta situação de destaque do coco no Brasil decorre principalmente devido ao aumento da área cultivada com coqueiros anões e híbridos destinados à produção de coco verde (água de coco), os quais são naturalmente mais produtivos que o coqueiro gigante destinado à produção de coco seco (MARTINS; JESUS JUNIOR, 2011). A casca do coco verde é um subproduto da industrialização ou do consumo in natura da água do coco, fruto do coqueiro (*Cocos nucifera* L).

Principalmente devido ao Brasil ter a quinta maior produção de coco no mundo, torna-se fácil visualizar que também existe uma geração significativa de resíduos após o beneficiamento para retirada da água de coco. Pois, diferente do coco seco que já é aproveitado para diversos fins, a casca do coco verde não é aproveitada pela indústria de beneficiamento de fibras em função das características inadequadas (ROSA *et al.*, 2002), como dificuldade de extração (PEREIRA, 2012). Assim, considerado como um passivo ambiental, esses resíduos vêm sendo descartados erroneamente em aterros e lixões, tornando-se um grande problema ambiental (SILVA, 2014; SILVA; FERREIRA; LIMA, 2013).

A casca de coco verde é composta por uma fração de fibras e outra de pó e se caracteriza pelo alto teor de lignina e consequente baixa taxa de degradação, levando mais de 8 anos para sua total decomposição (CARRIJO; LIZ; MAKISHIMA, 2002). Mesmo que o pó da casca do coco verde (produto de processos como moagem e lavagem) já seja alvo de pesquisas objetivando-se melhor utilização desse tipo de resíduo, e ainda, possuindo resultados positivos quanto à sua utilização (DE OLIVEIRA; COELHO; DE MELO, 2018) ainda é necessário discorrer sobre o assunto assim como novas formas de aproveitamento desse produto de forma integral.

Pesquisas recentes sobre esse resíduo vêm demonstrando uma boa capacidade de adsorção em estudos com descontaminação de poluentes (DE OLIVEIRA; COELHO; DE MELO, 2018; SILVA, 2014). Sendo uma das características do biochar que são necessárias para estudos com solos salinos. Dessa forma, a matéria prima da caca do coco verde se mostra como uma boa alternativa para a produção de biochar.

2.4 Biochar

O biochar ou biocarvão é um produto rico em carbono obtido pela queima (pirólise) da biomassa do material de origem, seja ela de origem vegetal, animal ou de resíduos urbanos tratados, em um ambiente sem oxigênio ou com suprimento limitado, onde a temperatura varia de 300 a 1000°C (LEHMANN, 2007; SAIFULLAH *et al.*, 2018). Esse material é altamente poroso e possui elementos orgânicos e inorgânicos em sua composição a depender do material de origem (NOVAK *et al.*, 2016).

A utilização do biochar não é um conceito novo na literatura, pois se baseia na observação dos solos da Amazônia conhecidos como “Terra Preta de Índio”. Estes solos possuem horizontes antrópicos que têm a presença de grande quantidade de carbono

pirogênico, fator este que pode ser considerado ponto-chave para a sua boa fertilidade e estruturação (BENITES *et al.*, 2009).

O biochar tem sido demonstrado em diversos trabalhos como uma excelente técnica no que se refere ao sequestro de carbono da atmosfera (LEHMANN, 2007; LEHMANN; GAUNT; RONDON, 2006; WOOLF *et al.*, 2010). Devido ao alto teor de C orgânico no biochar, ele tem grande potencial para servir como condicionador de solo (AHMAD *et al.*, 2014).

Dentre as características do biochar, uma delas está na capacidade de aumentar a capacidade de retenção de água do solo e isso se deve ao seu alto teor de C orgânico. Além disso, ele possui capacidade de adsorção devido a presença de diversos grupos funcionais, o tornando atrativo quando se trata da remoção de contaminantes e poluentes em solos e na água (AHMAD *et al.*, 2014). O biochar é capaz de adsorver o Na⁺ e reduzir seus efeitos tóxicos nas plantas ao diminuir a concentração desse íon na solução do solo (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015a).

Entretanto, vale ressaltar que as características do biochar variam de acordo com a sua matéria prima (ALI *et al.*, 2017) e a temperatura da pirólise (AHMAD *et al.*, 2014). Sendo que o processo de pirólise lenta, ou seja, com temperaturas mais baixas, mantém as características químicas do biochar mais próximas às características da sua matéria prima, o inverso ocorre no processo de pirólise rápida (RAFIQ *et al.*, 2016).

No geral, a aplicação de biochar vem melhorando propriedades dos solos afetados por estresses abióticos (RIZWAN *et al.*, 2016), e este vem sendo elucidado por melhorar a tolerância das plantas ao estresse salino (ALI *et al.*, 2017). Akhtar *et al.* (2015) demonstraram que o biochar de madeira, influenciou positivamente o crescimento e volume da raiz em plantas de batata submetidas ao estresse salino. No trigo, a aplicação de biochar proveniente de folhas secas e pó de serra, teve efeitos positivos na germinação, crescimento vegetativo e nas características fisiológicas em condição de estresse salino (KANWAL *et al.*, 2018).

O biochar também foi capaz de mitigar os efeitos deletérios do estresse salino na germinação e no crescimento de plântulas de sorgo (IBRAHIM *et al.*, 2020). Além disso, o biochar influenciou positivamente no crescimento e rendimento da soja tanto em condições normais, como em condições de estresse hídrico (GAVILI; MOOSAVI; KAMGAR HAGHIGHI, 2019; YOOYEN; WIJTKOSUM; SRIBURI, 2015). Portanto, isso reforça a necessidade de ampliação de estudos sobre a aplicabilidade do biochar como atenuador dos

efeitos deletérios da salinidade, os quais envolvem a matéria-prima utilizada, a dose a ser empregada no solo, bem como a espécie vegetal cultivada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (Figura 1) pertencente ao Departamento de Fitotecnia, localizada no Campus do Pici, da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza-CE, com latitude de 3°43'6" S, longitude de 38° 32'36" W e altitude de 14 m do nível do mar.

Figura 1 - Casa de vegetação localizada no Campus do Pici, no setor de Agricultura da Universidade Federal do Ceará na cidade de Fortaleza, Ceará.



Fonte: autora (2020)

3.2 Caracterização do solo

O solo utilizado foi coletado no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), situado na cidade de Pacajus, é classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo. Foi feita a sua caracterização química segundo metodologia proposta pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Tabela 2). A capacidade de retenção de água (CRA) do solo foi determinada por meio do método gravimétrico, com metodologia proposta por Souza *et al.* (2000), resultando em um valor de 1300 mL.

Tabela 2 - Características químicas do solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, antes da aplicação do biochar.

MO	P	K	Mg	Ca	Na	H+Al	SB	CTC	V	PST	pH	CE
(g/dm ³)	(mg/dm ³) (mmolc/dm ³) (%)		(dS/m)			
3,6	3	0,37	3,6	5,4	0,18	8	9,55	17,55	60	1	6,4	1,11

M.O – Matéria Orgânica; SB – Soma de bases; CTC – Capacidade de Troca de Cátions; V- Saturação por base; PST – Porcentagem de Sódio Trocável.

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (LABSAT) do IFCE – Campus Limoeiro do Norte (2018).

3.3 Obtenção e caracterização do biochar da casca de coco verde

A casca de coco verde, que corresponde a todo o fruto tendo sido retirado apenas a sua água para consumo, foi doada pela empresa Agroindústria Paraipaba, situada no município de Paraipaba-CE. A matéria prima recebida foi cortada em tamanho suficiente para que se coubesse no forno e levada para secagem a pleno sol, 10 dias e, em seguida, todas as etapas de produção do biochar foram realizadas na UFC (Figura 2).

Figura 2: Casca de coco verde (A), cascas após cortadas e secas em estufa (B) e produto final da pirólise lenta após moído e peneirado (biochar) (C).



Fonte: arquivo pessoal.

Após a secagem inicial a pleno sol, o material foi secado em estufa de circulação forçada a 65°C, durante 72 horas, sendo pesado logo em seguida. Após esta etapa, o material foi aquecido em forno caseiro de produção própria, com uma taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹ até atingir uma temperatura de 400-500°C, onde foi mantido por 6 horas. Sendo que o

forno caseiro era constantemente controlado para manter a temperatura em média de 400°C. Após a pirólise lenta (RAFIQ *et al.*, 2016), o material permaneceu no recipiente fechado, na ausência de oxigênio, a temperatura ambiente, até seu resfriamento completo. Após isso, este foi triturado e peneirado, em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se, assim, o produto final (biochar) (Figura 2C). Uma amostra do biochar de casca de coco verde foi encaminhada ao laboratório para a caracterização química segundo metodologias propostas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Tabela 3).

Tabela 3 – Características químicas do biochar de casca de coco verde.

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

M.O – Matéria Orgânica; C/N – Relação C/N

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (LABSAT) do IFCE – Campus Limoeiro do Norte (2019).

3.4 Material vegetal utilizado e tratamentos

O material vegetal utilizado foi a cultivar de soja Monsoy 8349 IPRO, uma cultivar comercial de alta produtividade. As sementes foram doadas em outubro de 2020 pela empresa Faedo, cuja fazenda de produção de sementes fica localizada na cidade de Limoeiro do Norte, no Ceará.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4, em que o primeiro fator corresponde aos níveis de salinidade da água da irrigação (estresse salino a 5 dS m⁻¹ e controle sem estresse a 0,52 dSm⁻¹) e o segundo fator corresponde as quatro doses de biochar adicionado ao solo (0%; 0,5%; 0,75% e 1% p/p), totalizando 8 tratamentos com 5 repetições.

Os tratamentos foram classificados baseados na dose do biochar e na salinidade da água de irrigação da seguinte forma: T1 (com salinidade e dose 0%); T2 (sem salinidade e dose 0%) T3 (com salinidade e dose 0,5%); T4 (sem salinidade e dose 0,5%); T5 (com salinidade e dose 0,75%); T6 (sem salinidade e dose 0,75%); T7 (com salinidade e dose 1%); T8 (sem salinidade e dose 1%).

3.5 Homogeneização e incubação do biochar ao solo

Para o experimento, foram utilizados vasos plásticos com capacidade para 6 L. Estes foram preenchidos com solo até atingir uma massa de 6kg, sendo as doses do biochar calculadas conforme o peso do solo.

O biochar foi homogeneizado ao solo com o auxílio de uma betoneira elétrica durante 5 minutos. Neste processo, também foi adicionado superfosfato triplo, cloreto de potássio, nitrato de cálcio, sulfato de magnésio, ácido bórico, sulfato de manganês, sulfato de zinco e molibdênio de acordo com as doses recomendadas por Faquin *et al.* (2008) para estudos com solos em vasos. Após a homogeneização do solo contendo o adubo e o biochar, este foi acondicionado em sacos plásticos, dentro de seus respectivos vasos, momento em que foi adicionada água destilada correspondente a 100% da CRA e, logo em seguida, estes foram fechados e incubados por um período de 30 dias (Figura 3).

Figura 3 - Processo de pesagem do solo (A), mistura do biochar + solo + adubos (B) e processo de incubação do biochar (C).



Fonte: autora (2020)

3.6 Condução do experimento

Após o período de incubação do biochar ao solo deu-se início ao experimento que foi conduzido durante os meses de fevereiro a março de 2021. Inicialmente, as sementes foram tratadas com fungicida e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* momentos antes da semeadura. A semeadura foi feita utilizando-se cinco sementes por vaso, a uma

profundidade de 3 cm. O desbaste foi realizado quando as plântulas estavam com a folha primária expandida, no V1, aos 10 dias após a semeadura (DAS), sendo mantida apenas uma planta por vaso (Figura 4).

Figura 4 - Antes do desbaste (A) e após o desbaste (B).

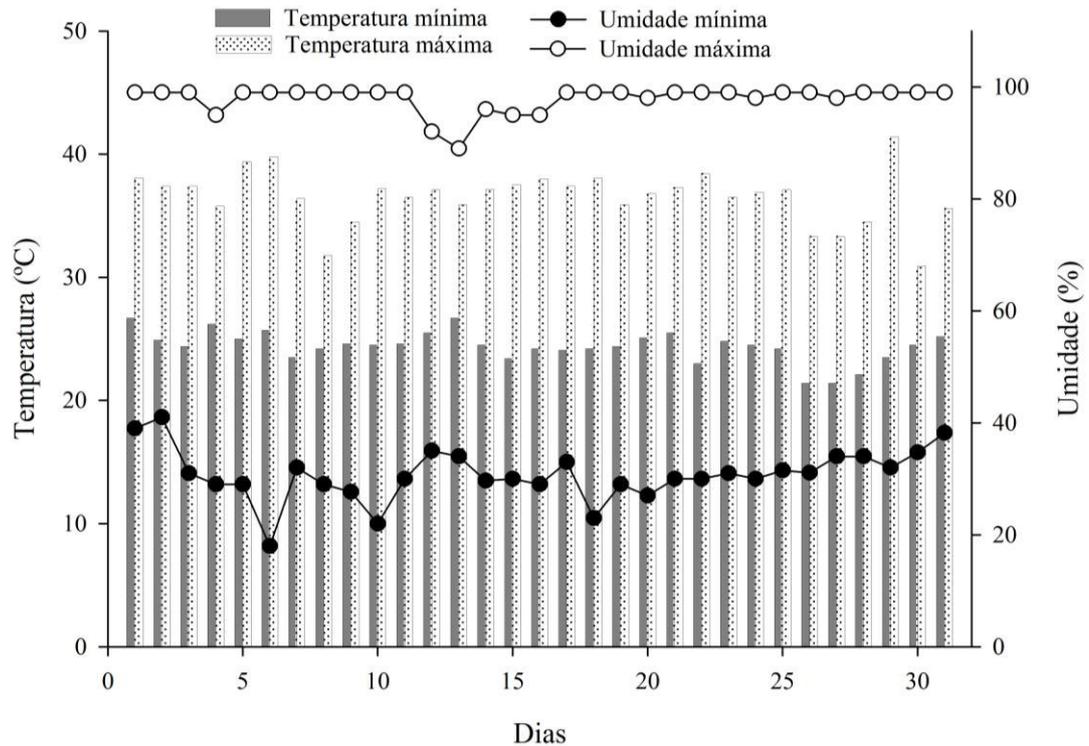


Fonte: autora (2021)

A irrigação foi realizada diariamente sendo mantido o solo a 80% da CRA (COSTA, 2020), tanto para os tratamentos com estresse salino como para os sem estresse. Para a irrigação dos tratamentos sem estresse, foi utilizada água da torneira com condutividade elétrica (CE) média de $0,52 \text{ dS m}^{-1}$. A imposição do estresse salino iniciou no estágio vegetativo V4 (19 DAS). A solução salina foi preparada pela mistura de três sais, sendo eles o cloreto de sódio (NaCl), o cloreto de cálcio diidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e o cloreto de magnésio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) na proporção de 7:2:1 (AQUINO *et al.*, 2007). Em um primeiro momento, os tratamentos com solução salina foram aclimatados com soluções com CE crescentes até $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ por 7 dias até chegar na solução com CE de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, permanecendo irrigadas com essa CE durante 20 dias. Ao longo desse período, no sétimo dia de irrigação salina, era realizada a lavagem dos sais aplicando uma lâmina de lixiviação 25% superior a demanda da cultura, para que não houvesse a acumulação dos sais no solo.

Ao longo do experimento, as plantas receberam duas adubações de cobertura via solução de Hoagland e Arnon (1950) $\frac{1}{4}$ de força. Além disso, foi feita a retirada de plantas daninhas dos vasos quando necessário. As temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar na casa de vegetação foram acompanhadas diariamente, durante o mês de março de 2021 (Figura 5). As plantas foram coletadas 54 DAS para realização das análises destrutivas.

Figura 5 - Acompanhamento da temperatura e umidade relativa do ar, na casa de vegetação, localizada no Campus do Pici, da Universidade Federal do Ceará, na cidade de Fortaleza-CE, durante o mês de março de 2021.



Fonte: autora (2021)

3.7 Análise de crescimento

As variáveis analisadas foram: altura de plantas (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), comprimento da raiz (CR), volume da raiz (VR) e massas secas do caule (MSC), folhas (MSF), raiz (MSR) e vagens (MSV).

A AP foi medida com o auxílio de uma régua graduada em cm, sendo medida do solo até o último nó da planta. O DC foi medido abaixo do primeiro nó, com o auxílio de um paquímetro digital e expresso em mm. Para contagem das folhas, foram consideradas as folhas completamente expandidas.

Ao final do experimento, as plantas foram coletadas e as raízes foram retiradas do solo e lavadas em água corrente com auxílio de uma peneira para evitar perdas de material e, após isso, foi medido seu comprimento (CR) com auxílio de uma régua graduada em cm (Figura 6). O VR foi medido em uma proveta graduada, parcialmente preenchida com volume

conhecido de água e, após adicionar o sistema radicular na proveta, o volume ocupado pelo sistema radicular foi determinado em mL (BASSO, 1999). A AF foi determinada utilizando um integrador de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, 87 Nebraska, USA) com resultado expresso em cm^2 .

Para a obtenção da massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e das raízes (MSR), as amostras foram colocadas em sacos de papel, previamente identificados, e levadas à estufa de circulação forçada a 65°C até obter massa constante. Já as vagens foram colocadas em estufa de circulação forçada a 45°C por 48 horas até obter massa constante (MSV). Quando secos, os materiais foram pesados em balança de precisão.

Com os dados de matéria seca foram determinados a massa seca total (MST) e massa seca da parte aérea (MSPA) e foi calculada a razão raiz/parte aérea (R/PA) e as razões de massa: razão de massa foliar (RMF), razão de massa caulinar (RMC), razão de massa radicular (RMR) e razão de massa das vagens (RMV) que foram expressas em porcentagem. Além disso, também foram calculadas a razão de área foliar (RAF - $\text{cm}^2\text{ g}^{-1}$), área foliar específica (AFE - $\text{cm}^2\text{ g}^{-1}$) e taxa de crescimento relativo (TCR).

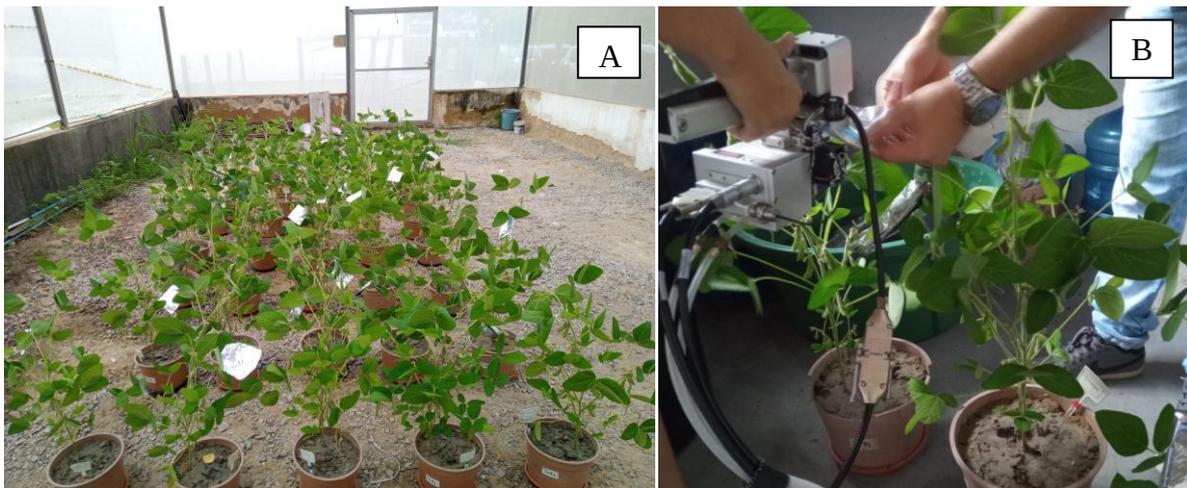
3.8 Caracterização fisiológica

3.8.1 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*

As variáveis fisiológicas foram avaliadas na última semana do estresse salino, sendo estas: taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) e razão entre concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a - $\mu\text{mol CO}_2\text{ mol}^{-1}$). As avaliações foram realizadas entre 8:00 e 12:00 horas, na terceira folha completamente expandida a partir do ápice, utilizando o analisador de gás no infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400XT, Li-Cor® Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, USA), com radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante ($1500\ \mu\text{mol fótons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$), concentração constante de CO_2 (400 ppm) e temperatura e umidade ambiente. Com os dados obtidos com o IRGA, também foi possível calcular a eficiência do uso da água intrínseca (EUA intr. - A/g_s) e instantânea (EUA inst. - A/E) e a eficiência instantânea de carboxilação ($E_iC - A/C_i$).

Além disso, também foi avaliada a fluorescência da clorofila *a*, com um fluorômetro acoplado ao IRGA (Li-6400-40, Li-Cor®), na mesma folha utilizada para avaliar as trocas gasosas (Figura 6). Após a leitura no claro (concomitante as trocas gasosas), as folhas foram aclimatadas ao escuro durante 30 minutos, para determinação dos parâmetros de fluorescência mínima (F_0) e, após um pulso saturante, também foi obtida a fluorescência máxima (F_m). Em seguida, a eficiência fotoquímica potencial do PSII (F_v/F_m) foi estimada. Com isso, por meio dos parâmetros da fluorescência obtidos no claro, foi possível determinar o rendimento quântico efetivo do PSII (ϕ_{FSII}), a taxa de transporte de elétrons (ETR), *quenching* fotoquímico (qP), *quenching* não-fotoquímico (qN) e o coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ).

Figura 6 - Aclimatação no escuro das folhas (A) e medição da fluorescência da clorofila *a* com o equipamento IRGA (B).



Fonte: autora (2021)

3.8.2 Pigmentos fotossintéticos e índice relativo de clorofilas

Os teores de pigmentos (clorofila *a*, *b*, razão clorofila *a/b* e carotenoides) foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Wellburn (1994). Os pigmentos foram extraídos de 3 discos foliares que foram colocados em um tubo contendo 5 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com carbonato de cálcio, e foram acondicionados, por 1 h, em banho-maria a 65°C. As absorvâncias dos extratos foram mensuradas em espectrofotômetro a 480; 649,1 e 665,1 nm. Após isso, os discos foram lavados com água destilada e postos em

estufa de circulação forçada a 60°C até obter massa constante e, em seguida, foram pesados em balança de precisão para obtenção dos valores em $\mu\text{g g}^{-1}$ de matéria seca. O índice relativo de clorofila (IRC) ou índice SPAD, foi mensurado por um clorofilômetro portátil- SPAD (Soil Plant Analysis Development), sendo aferido pela manhã, de 8:00 as 12:00 horas utilizando-se a média de três leituras em uma folha completamente expandidos.

3.8.3 Teor relativo de água (TRA) e potencial osmótico (Ψ_s)

O TRA foi determinado de acordo com a metodologia de Barrs e Weatherley (1962). Em balança de precisão, foram pesados 10 discos foliares para obtenção da massa fresca (MF), em seguida, os discos foram imersos em água destilada por 24 horas até atingirem massa túrgida (MT) que também foram pesados. Após isso, estes foram colocados em estufa de circulação forçada a 60°C por, aproximadamente, 72 horas para obtenção da massa seca (MS). O TRA foi determinado pela seguinte equação:

$$TRA (\%) = \frac{MF - MS}{MT - MS} \times 100$$

Para o potencial osmótico (Ψ_s), foi coletada uma folha completamente expandida e acondicionada em freezer a -20°C sendo, posteriormente, extraído o suco celular. Para a extração do suco celular, o material vegetal congelado foi inserido em uma seringa de 20 mL sendo aplicada pressão no embolo até que este fosse extraído e coletado em microtubos. Após a coleta em microtubos foi feita uma centrifugação a 10000 x g por 10 min para que houvesse precipitação de possíveis materiais sólidos. Posteriormente, procedeu-se a leitura no sobrenadante, utilizando um microosmômetro (VAPRO 5520, Wescor, Logan, Utah, USA) sendo o resultado do Ψ_s expresso em MPa.

3.9 Solutos inorgânicos

Para a obtenção do extrato, as folhas foram liofilizadas e depois maceradas. Foi utilizada a técnica de fotometria de chama para determinação de Na^+ e K^+ pela metodologia

de Malavolta *et al.* (1997) (Figura 7). Os nutrientes foram expressos em g kg^{-1} de MS, além disso, também foi calculada a razão Na^+/K^+ .

Figura 7 – Determinação dos teores de Na^+ e K^+ pelo método de fotometria de chama.



Fonte: arquivo pessoal.

3.10 Variáveis de produção

Ao final do experimento, foi quantificado o número de vagens (NV) formadas até o momento da coleta, o comprimento das vagens (CV) e o número de lóculos (NL). Todas as vagens de cada tratamento e repetição foram contadas, entretanto, para a análise do CV e do NL foram escolhidas 10 vagens, ao acaso, de cada repetição e medido seu comprimento com uma régua graduada e contado seu NL.

3.11 Análise estatística

Os dados das variáveis analisadas foram submetidos a análise de variância e quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo foi feita uma análise de regressão e escolhido o melhor modelo ajustado de acordo com significância dos coeficientes de regressão a 5% de probabilidade pelo teste F e com maior coeficiente de determinação. As análises estatísticas

foram feitas no programa R e os gráficos foram confeccionados pelo programa SigmaPlot (versão 11.0).

4 RESULTADOS

4.1 Análise de crescimento

Em geral, as variáveis abaixo apresentaram diferença significativa a 1% ($p < 0,01$) de probabilidade, pelo teste F na análise da variância, apenas para o fator isolado salinidade. Já a variável altura de plantas (AP) obteve significância apenas no fator isolado doses. Para as variáveis área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) se obteve interação significativa entre os fatores dose e salinidade (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR), volume da raiz (VR), área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.

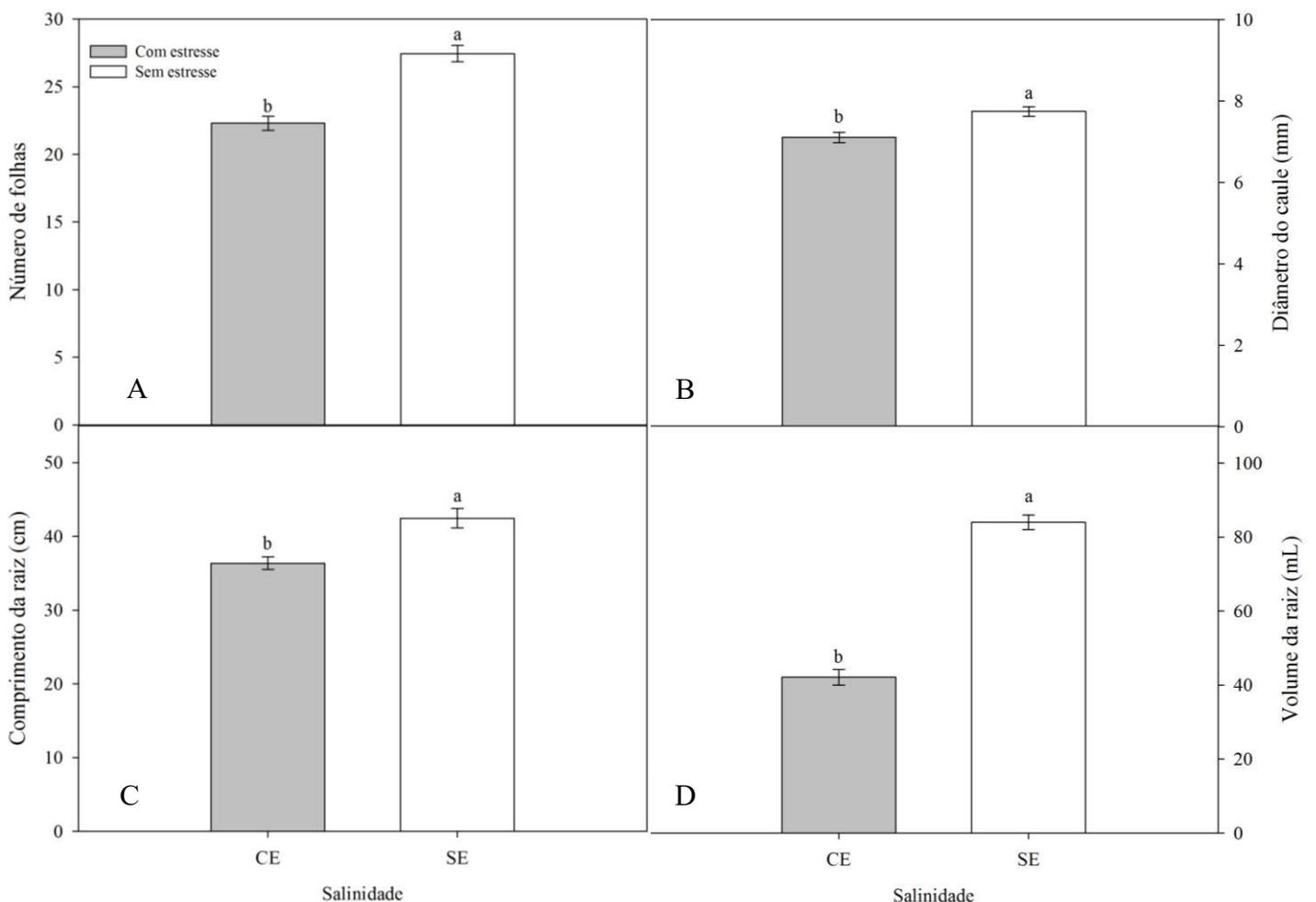
FV	GL	Valor de F								
		AP	DC	NF	CR	VR	AF	AFE	RAF	TCR
Salinidade (S)	1	1,93 ^{ns}	13,82**	38,37**	13,91**	217,91**	157,11**	3,29 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Doses (D)	3	8,06**	1,82 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,97 ^{ns}	2,44 ^{ns}	18,23**	17,19**	29,05**	1,27 ^{ns}
Int. S X D	3	1,36 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,65 ^{ns}	9,34**	4,64**	6,82**	1,03 ^{ns}
Resíduo	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV(%)		10,5	7,30	10,57	13,10	14,22	8,96	7,2	6,34	15,12

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

Fonte: autora (2021).

Analisando as variáveis NF, DC, CR, VR é possível observar que os tratamentos sem salinidade obtiveram médias superiores sendo 18,76%, 8,26%, 14,35% e 49,85% maior do que os tratamentos com salinidade, respectivamente (Figura 8). Sendo possível notar uma redução relativa do sistema radicular nas plantas com estresse (Figura 9).

Figura 8 – Número de folhas (A), diâmetro do caule (B), comprimento da raiz (C) e volume da raiz (D) de plantas de soja cultivadas sob irrigação salina e não salina. Letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. As barras representam o erro padrão.



Fonte: autora (2021).

Figura 9 – Raízes de plantas de soja submetidas a distintas salinidades e doses (D) de biochar de casca de coco verde. T1: Com estresse + 0%; T2: Sem estresse + 0%; T3: Com estresse +

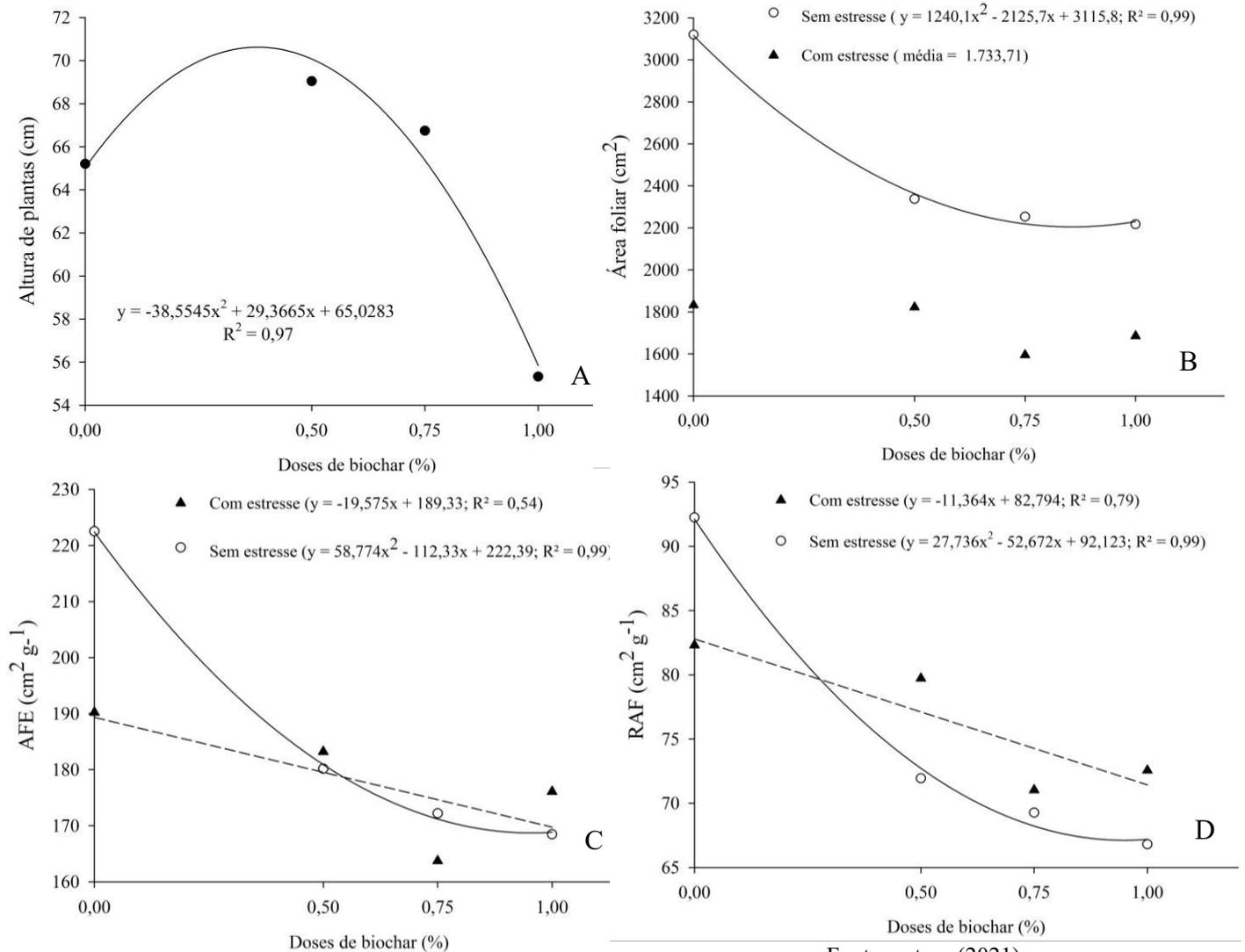
0,50%; T4: Sem estresse + 0,50%; T5: Com estresse + 0,75%; T6: Sem estresse + 0,75%; T7: Com estresse + 1%; T8: Sem estresse + 1%.



Fonte: autora (2021).

Em relação a AP, foi ajustada uma equação quadrática em que foi encontrada a melhor dose de biochar de 0,38% com o ponto máximo de 70,62 cm. Ao comparar o ponto máximo com o valor obtido para a dose zero, observou-se incremento de 7,92% na AP (Figura 10A e 11). A AF no tratamento sem estresse salino ajustou-se ao modelo de segundo grau, apresentando uma diminuição expressiva nos valores com o aumento das doses de biochar. Já os tratamentos com estresse salino não se ajustaram a nenhuma equação, apresentando média de 1.733,71 cm². Para os tratamentos sem estresse foi encontrado uma redução de 29,24% com o incremento máximo do biochar (Figura 10B). Para a AFE foi observado um decréscimo linear de 10,34% da dose zero à dose máxima do biochar nos tratamentos com estresse. Já para os tratamentos sem estresse foi ajustado um modelo quadrático onde se estimou um decréscimo de 24,47% com o incremento máximo do biochar, (Figura 10C). Em relação a RAF, também se observou um decréscimo linear com o incremento da dose de biochar, sendo este de 10,34% para os tratamentos com estresse. E para os tratamentos sem estresse, houve uma redução de 27,14% da dose zero à dose máxima do biochar (Figura 10D).

Figura 10 – (A) Altura de plantas, (B) área foliar (AF), (C) área foliar específica (AFE) e (D) razão de área foliar (RAF) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.



Fonte: autora (2021).

Figura 11 – Altura de plantas de soja submetidas a distintas salinidades e doses (D) de biochar de casca de coco verde. T1: Com estresse + 0%; T2: Sem estresse + 0%; T3: Com estresse + 0,50%; T4: Sem estresse + 0,50%; T5: Com estresse + 0,75%; T6: Sem estresse + 0,75%; T7: Com estresse + 1%; T8: Sem estresse + 1%.



Fonte: arquivo pessoal.

Para as variáveis de massas secas, tanto mensuradas, quanto calculadas, observou-se interação significativa de 1%, no teste F da análise de variância, para o fator isolado salinidade, exceto para a variável razão da massa do caule (RMC), que foi significativa apenas para o fator doses, enquanto que a variável razão da massa das vagens (RMV) foi significativa para ambos os fatores isolados (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), razão raiz parte aérea (R/PA), razão da massa foliar (RMF), razão da massa do caule (RMC), razão da massa da raiz (RMR) e razão da massa das vagens (RMC) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.

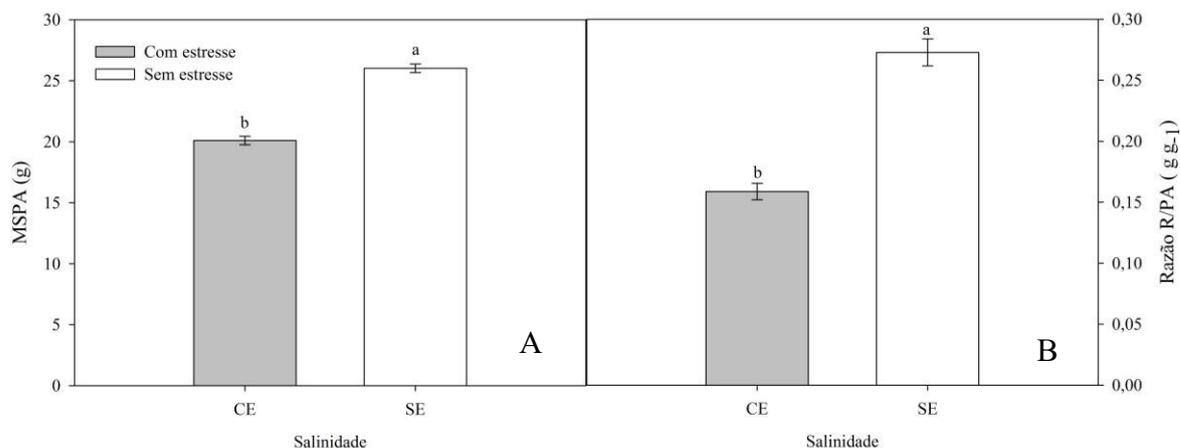
FV	GL	Valor de F						
		MSPA	MSR	Razão R/PA	RMR	RMC	RMF	RMV
Salinidade (S)	1	115,27**	145,27**	66,11**	73,83**	0,77 ^{ns}	23,40**	29,44**
Doses (D)	3	0,11 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,49 ^{ns}	11,79**	1,96 ^{ns}	9,92**
Int. S X D	3	0,05 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Resíduo	32	-	-	-	-	-	-	-
Total	39	-	-	-	-	-	-	-
CV(%)		7,56	19,7	20,55	16,16	6,94	4,41	13,39

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

Fonte: autora (2021).

Ao analisar a Figura 12A é possível observar que MSPA das plantas com estresse foi menor do que a das plantas sem estresse, sendo essa diferença de 22,75%. A razão R/PA também teve um comportamento semelhante, sendo a diferença entre os tratamentos com e sem estresse de 41,8% (Figura 12B). Esses dados estão de acordo com os dados apresentados anteriormente pois tanto o CR como o VR foram bastante afetados pela salinidade.

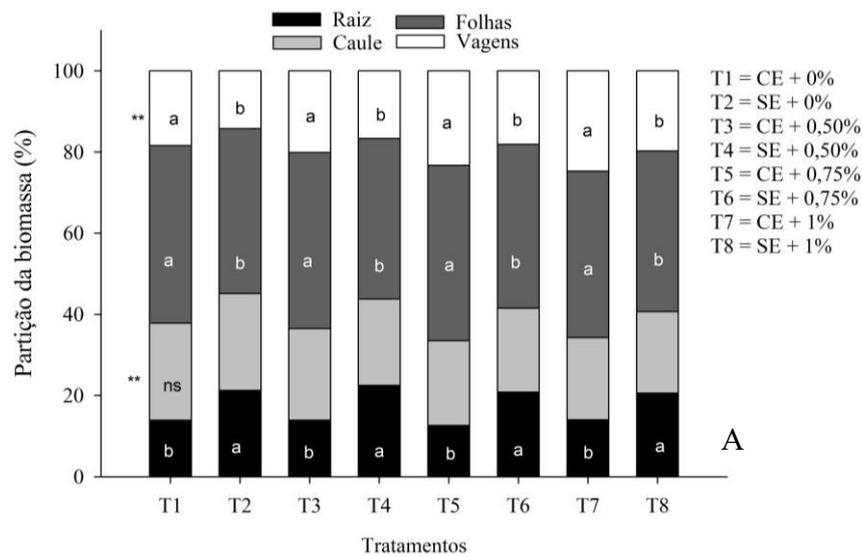
Figura 12 – Massa seca da parte aérea (MSPA) e razão raiz/parte aérea de plantas de soja cultivadas com estresse e sem estresse salino e diferentes doses de biochar de casca de coco verde. Letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. As barras representam o erro padrão.

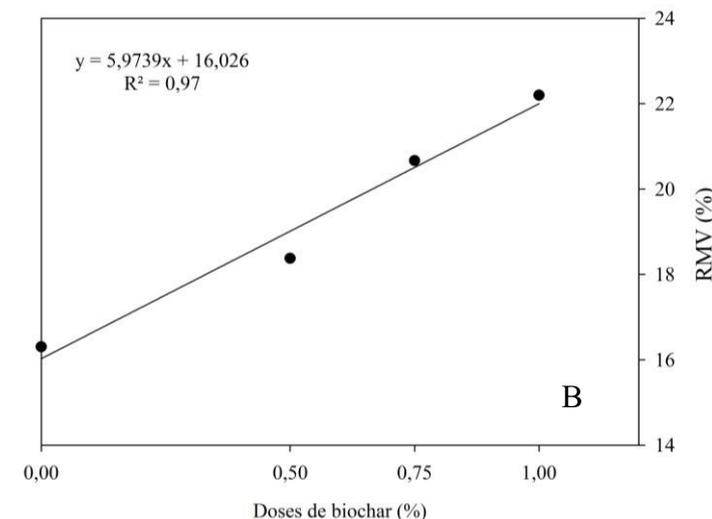


Fonte: autora (2021).

As razões de massa da raiz, caule, folhas e vagens representam quanto da biomassa total da planta foi alocada para cada uma dessas partes. De acordo a Figura 13A, é possível observar que os tratamentos que receberam irrigação salina tiveram menor alocação da biomassa para a raiz. Em contrapartida, maior alocação da sua biomassa para as folhas e vagens. Já a RMC não apresentou significância no fator isolado salinidade, mas apresentou no fator doses, e foi observado um decréscimo linear de 16% da porcentagem da biomassa alocada para o caule com o aumento nas doses de biochar. Já em relação a partição para as vagens, houve um aumento linear de 27,14% de alocação para a dose máxima de biochar, independente da salinidade (Figura 13B).

Figura 13 – (A) Partição da biomassa de plantas soja e (B) razão da massa das vagens de plantas de soja submetidas a irrigação salina e não salina com diferentes doses de biochar da casca de coco verde. As letras estão fazendo comparações ao fator salinidade, onde letras distintas diferem estatisticamente entre si e ns não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey a 1% de probabilidade. Os ** representam a significância no fator doses. Em que: CE= com estresse e SE = sem estresse e os valores representam as doses do biochar.





Fonte: autora (2021).

4.2 Caracterização fisiológica

4.2.1 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*

Em geral, as variáveis de trocas gasosas apresentaram significância, a 1% pelo teste F da análise de variância ($p < 0,01$), para a interação dos fatores salinidade e dose, com exceção das variáveis eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e eficiência instantânea do uso da água (EUA inst.) (Tabela 6).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para as variáveis fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração (E - $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), razão entre concentração interna e externa de CO_2 (Ci/Ca - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), eficiência instantânea de carboxilação (EiC), eficiência instantânea do uso da água (EUA inst.) e eficiência intrínseca do uso da água (EUA int.) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.

FV	GL	Valor de F						
		A	g_s	E	Ci/Ca	EiC	EUA. Intr.	EUA inst.
Salinidade (S)	1	46,14**	108,31**	58,36**	42,36**	8,14**	21,52**	0,83 ^{ns}
Doses (D)	3	25,45**	42,92**	62,36**	30,52**	5,60**	14,99**	1,73 ^{ns}
Int. S X D	3	6,64**	11,99**	14,62**	8,61**	2,14 ^{ns}	6,52**	2,00 ^{ns}
Resíduo	32	-	-	-	-	-	-	-
Total	39	-	-	-	-	-	-	-
CV(%)		16,33	24,73	15,11	7,31	21,25	29,57	52,94

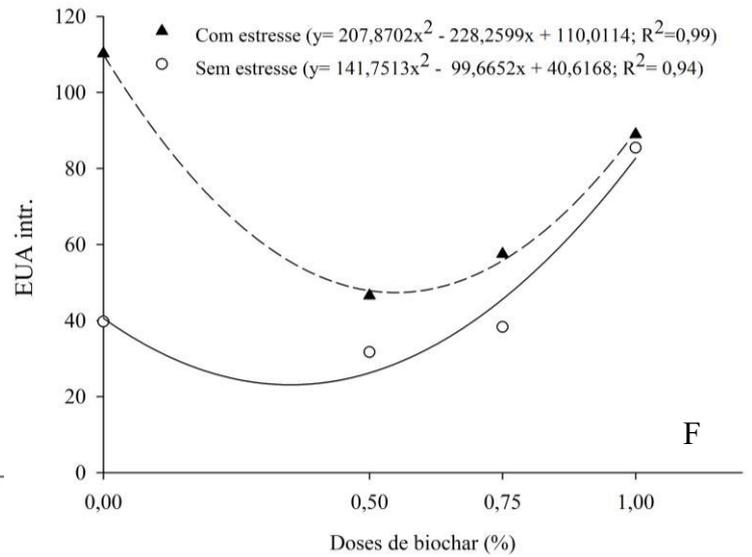
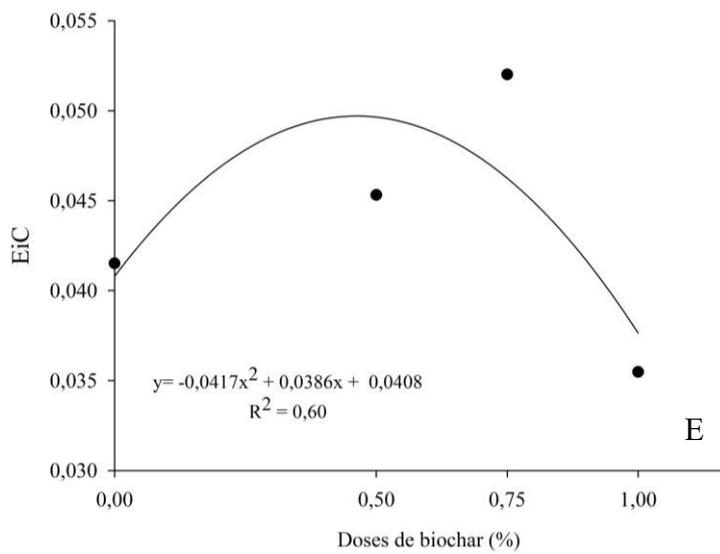
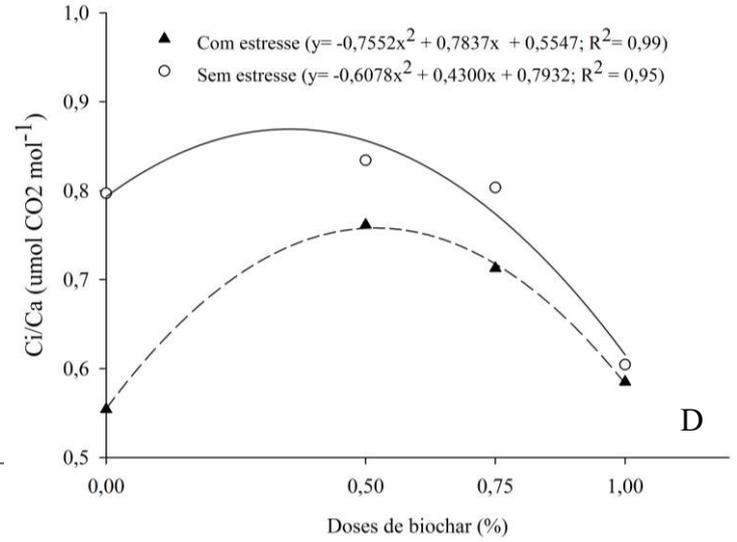
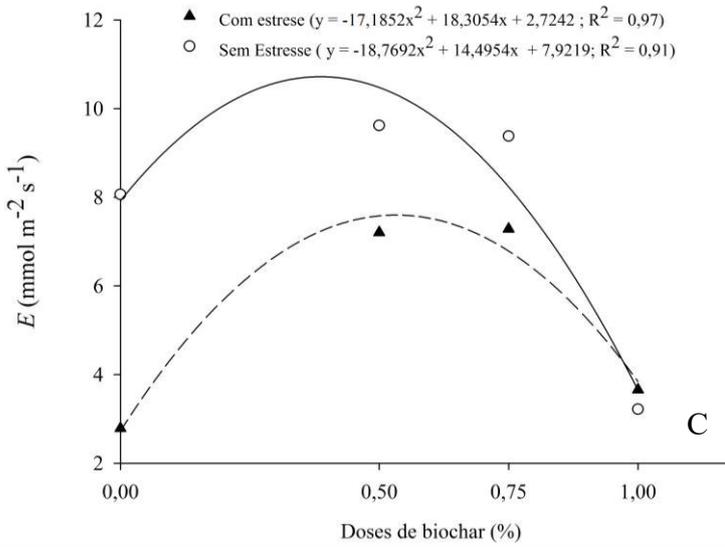
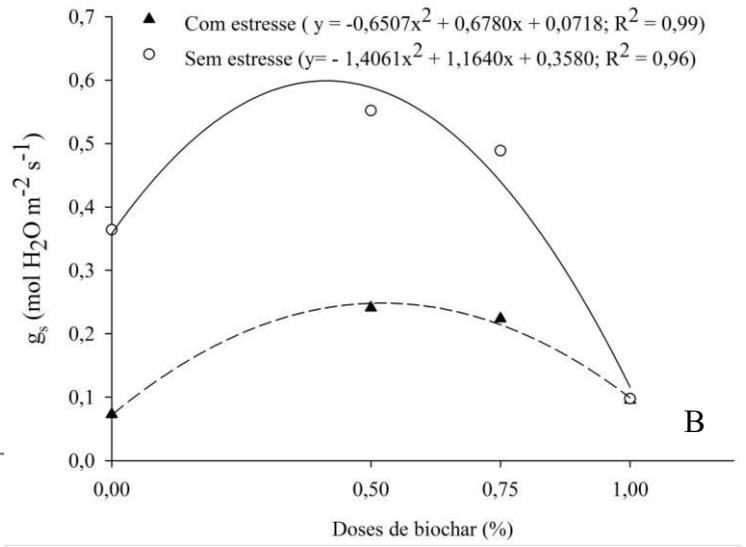
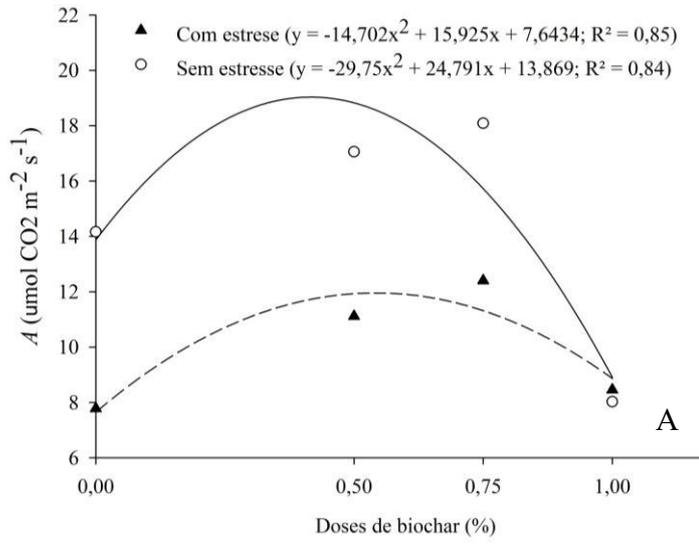
** = significativo a 1% de probabilidade; * = significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação

Fonte: autora (2021).

As variáveis descritas a seguir se ajustaram a equação quadrática e, com isso, foi possível calcular as melhores doses, bem como os melhores resultados que elas expressariam para cada variável. Para a fotossíntese líquida (A), foi encontrada a dose de 0,54% e a melhor taxa fotossintética de $11,95 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as plantas submetidas a irrigação salina (com estresse), já para as plantas controle (sem estresse), a melhor dose foi de 0,42% com média de $19,03 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 14A). Para a condutância estomática (g_s) a melhor dose foi de 0,52% com média de $0,25 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as plantas com estresse e 0,41% e $0,60 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as plantas sem estresse (Figura 14B). Para a transpiração, foi encontrado um valor de 0,53% e $7,60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as plantas com estresse e 0,39% e $10,72 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as plantas sem estresse (Figura 14C).

Para a razão entre concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a), foi obtido os valores de dose e média de 0,52% e 0,75 para as plantas com estresse e 0,35% e 0,87 para as plantas sem estresse, respectivamente (Figura 14D). Para a E_iC , a melhor dose encontrada foi de 0,46% com valor de 0,05 (Figura 14E). A EUA int. apresentou valores de 0,55% e um ponto mínimo de 47,34 para as plantas com estresse e 0,35% e 23,09 para as plantas sem estresse (Figura 14F).

Figura 14 – (A) Fotossíntese líquida (A), (B) taxa de transpiração (E), (C) condutância estomática (g_s), (D) razão entre concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a), (E) eficiência instantânea de carboxilação (E_iC) e (F) eficiência intrínseca do uso da água (EUA int.) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.



Fonte: autora (2021).

Ao comparar os melhores valores obtidos na equação com os valores obtidos na dose zero nas plantas com estresse, é possível observar um aumento de 36,6% na A , 72% na g_s , 64,21% na E e 27,63% na razão C_i/C_a . Já a EUA intr., na dose zero, foi 56,97% maior do que na calculada. No que diz respeito a E_iC , independente da salinidade, a melhor dose calculada foi 20% maior do que na dose zero.

No que diz respeito as variáveis de fluorescência da clorofila a , a maioria apresentou significância a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), pelo teste de Tukey (Tabela 7) tanto para os fatores isolados, quanto para a interação entre os fatores.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as variáveis eficiência fotoquímica potencial do FSII (F_v/F_m), rendimento quântico efetivo do PSII (ϕ FSII) *quenching* fotoquímico (qP), *quenching* não-fotoquímico (qN), coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ), e taxa de transporte de elétrons (ETR) em plantas de soja submetidas a condições de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde.

FV	GL	Valor de F					
		F_v/F_m	ϕ FSII	qP	qN	NPQ	ETR
Salinidade (S)	1	9,95**	32,67**	6,60*	28,00**	22,86**	32,65**
Doses (D)	3	11,83**	35,86**	19,15**	7,72**	3,99*	35,84**
Int. S X D	3	23,25*	10,14**	8,70**	6,58**	5,17**	10,14**
Resíduo	32	-	-	-	-	-	-
Total	39	-	-	-	-	-	-
CV(%)		1,06	13,72	14,31	7,64	17,7	13,71

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

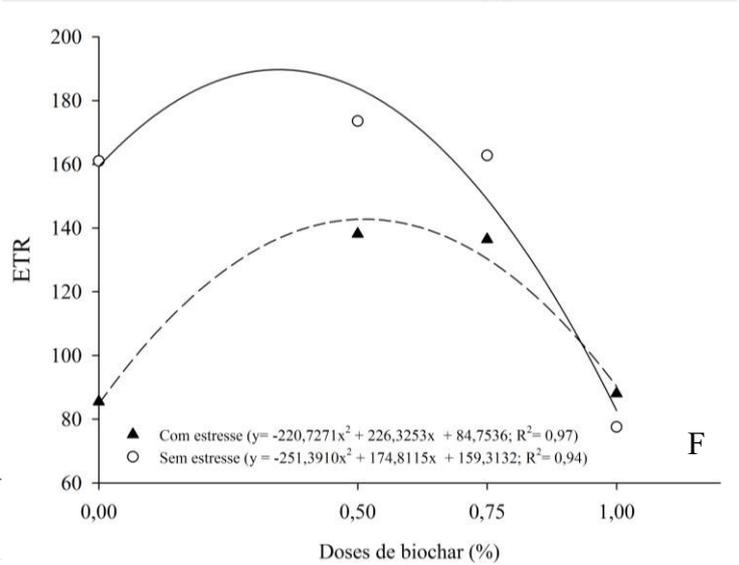
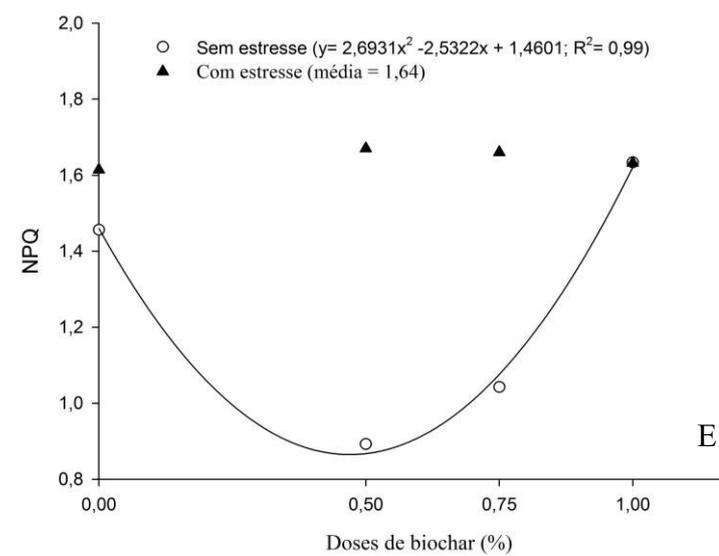
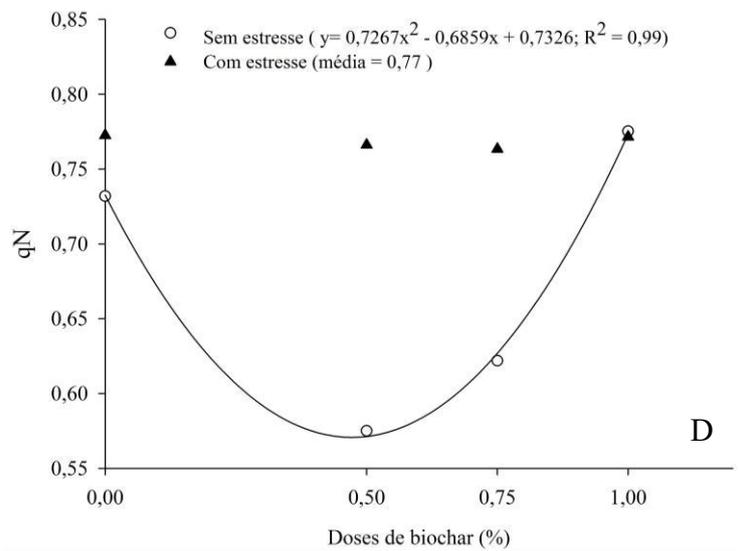
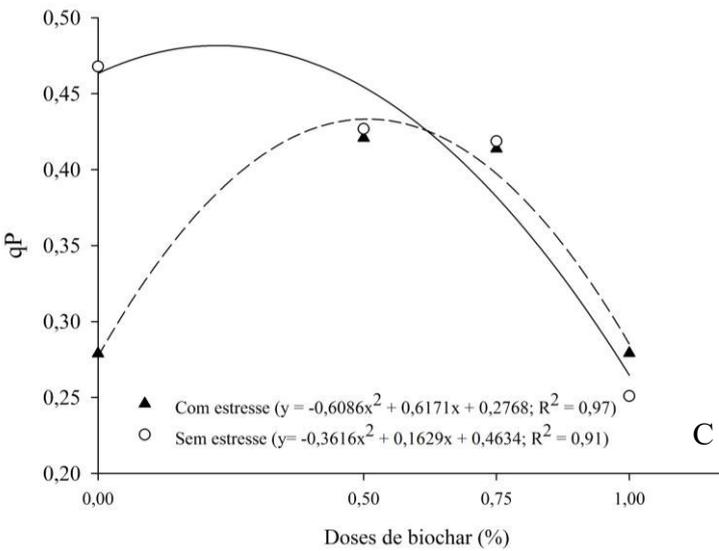
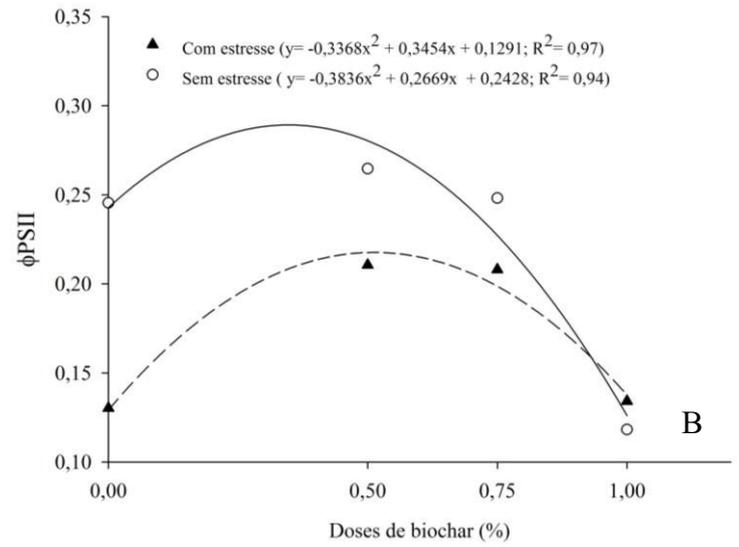
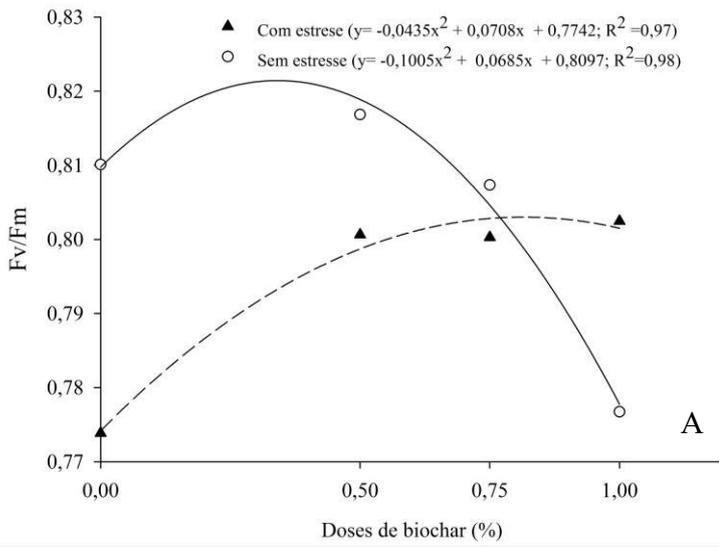
Fonte: autora (2021).

As variáveis de fluorescência da clorofila a ajustaram-se a equação de modelo quadrático. Para a F_v/F_m foi encontrada a melhor dose de 0,81% e a melhor eficiência de 0,80 para as plantas com estresse, já para as plantas sem estresse, os valores encontrados foram de 0,34% com média de 0,82 (Figura 15A). Para o ϕ FSII foi encontrada os valores de 0,51% e 0,216 para as plantas com estresse e 0,35% e 0,30 para as plantas sem estresse (Figura 15B). O qP obteve resultados de 0,51% e 0,43 para plantas com estresse e 0,22% e 0,48 para plantas sem estresse (Figura 15C).

Para o qN e NPQ foi ajustada apenas uma equação quadrática, para as plantas sem estresse, pois as plantas com estresse obtiveram médias iguais pelo teste F (0,77 e 1,64 respectivamente). Assim, foi encontrado os valores para qN de 0,45% e 0,58 para as plantas sem estresse (Figura 15D) e para NPQ 0,47% e 0,86 (Figura 15E). Por fim, para a variável ETR, foi encontrado os valores de 0,51% e 142,77 para as plantas com estresse e 0,35% e 189,70 para as plantas sem estresse (Figura 15F).

Comparando os melhores valores obtidos na equação com os valores obtidos na dose zero, nas plantas com estresse, é possível observar um aumento 3,75% na Fv/Fm, 40,91% no ϕ FSII, 34,88% no qP e 40,64% na ETR.

Figura 15 – (A) Eficiência fotoquímica potencial do FSII (Fv/Fm), (B) rendimento quântico efetivo do PSII (ϕ FSII), (C) *quenching* fotoquímico (qP), (D) *quenching* não-fotoquímico (qN), (E) coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ) e (F) taxa de transporte de elétrons (ETR), em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde.



Fonte: autora (2021)

4.2.2 Pigmentos fotossintéticos e índice relativo de clorofila

Em relação aos pigmentos fotossintéticos, as variáveis clorofila *a* (Cl *a*) e clorofila total (Cl *t*), apresentaram significância de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) para o fator isolado dose, exceto a clorofila *b* (Cl *b*) e carotenoides, que não tiveram significância em nenhum dos fatores. Já o índice relativo de clorofila (IRC) apresentou significância a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) para o fator isolado salinidade (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total, carotenoides e índice relativo de clorofila (IRC) em plantas de soja, submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde.

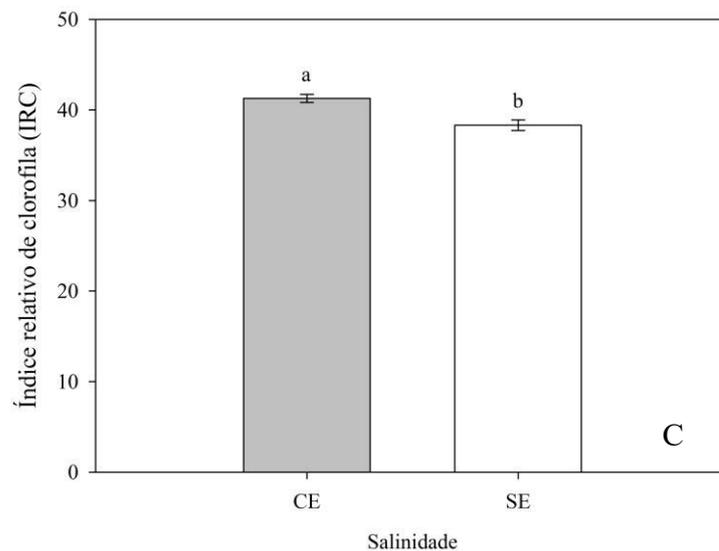
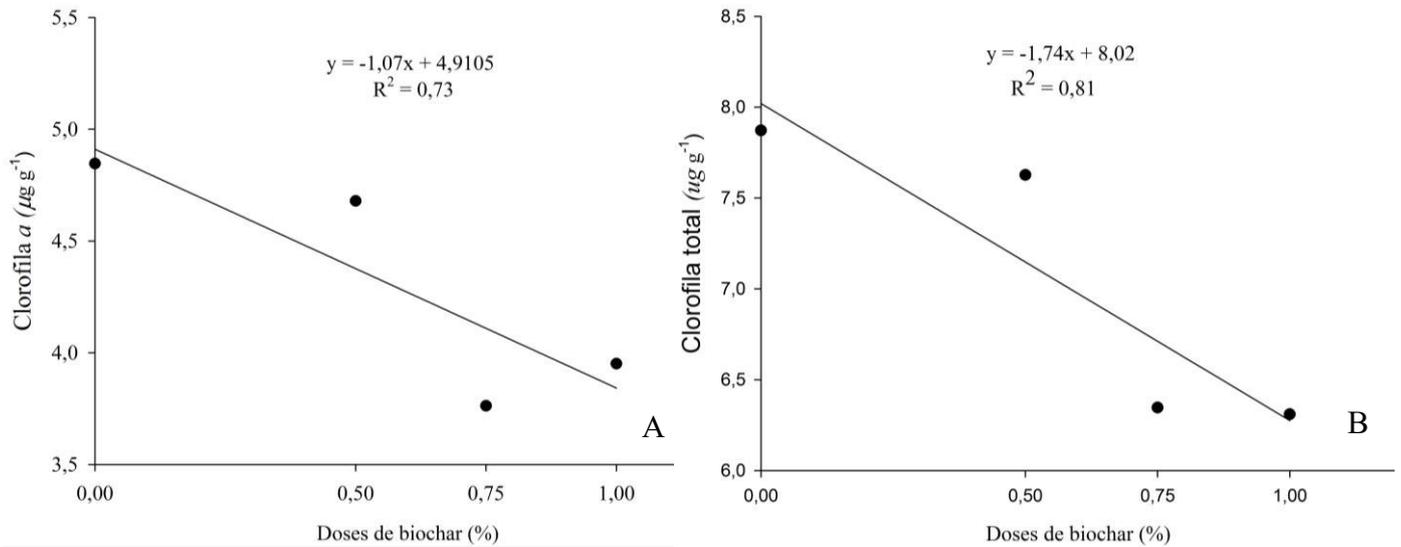
FV	GL	Valor de F				
		Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Carotenoides	IRC
Salinidade (S)	1	1,08 ^{ns}	2,67 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,25 ^{ns}	14,40 ^{**}
Doses (D)	3	3,93 [*]	2,50 ^{ns}	3,71 [*]	2,91 ^{ns}	1,19 ^{ns}
Int. S X D	3	1,85 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,79 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Resíduo	32	-	-	-	-	-
Total	39	-	-	-	-	-
CV(%)		19,72	22,98	19,29	20,19	6,18

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

Fonte: autora (2021).

Para as variáveis de pigmentos fotossintéticos, Cl *a* e Cl *t*, foi observado efeito significativo apenas para as doses, logo, foi ajustada uma equação linear. Com isso, foi possível aferir um decréscimo linear de 21,79% e 21,7% no conteúdo de Cl *a* e Cl *t*, respectivamente, com o incremento máximo do biochar (Figura 16A e 16B). O IRC, por sua vez, teve um comportamento contrário as demais variáveis apresentadas, sendo o tratamento com estresse 7,15% maior do que o sem estresse (Figura 16C).

Figura 16 – (A) Clorofila *a*, (B) clorofila total e (C) índice relativo de clorofila (IRC) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde.



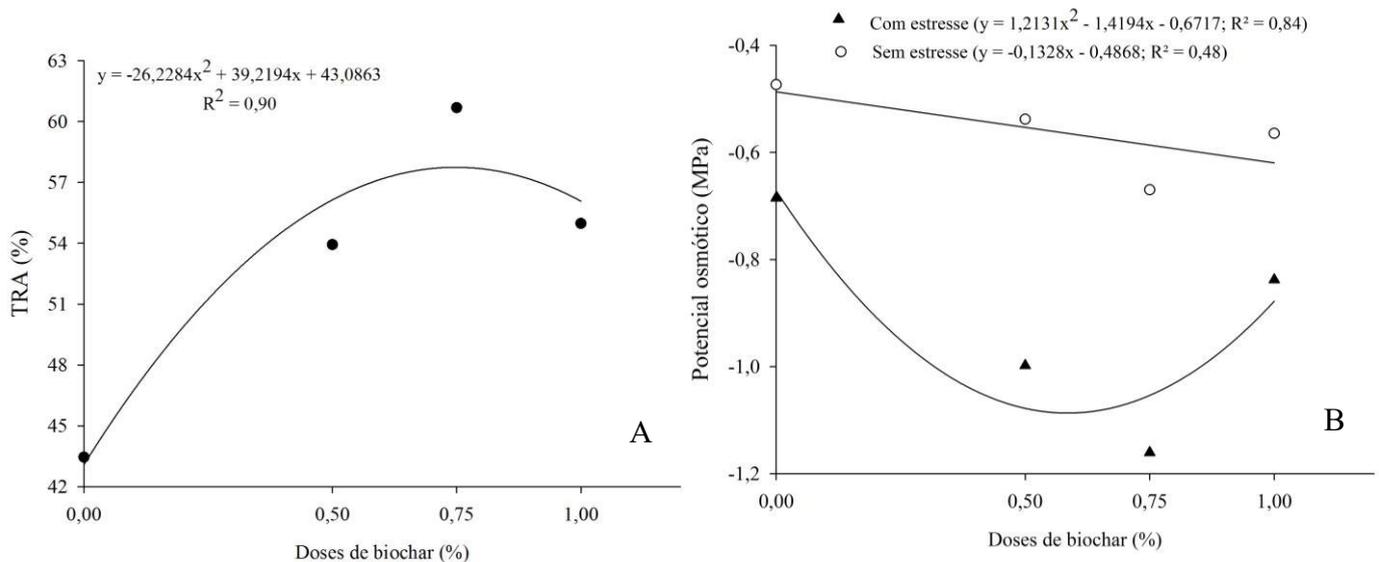
Fonte: autora (2021).

4.2.3 Teor relativo de água (TRA) e potencial osmótico (Ψ_s)

O teor relativo de água (TRA) foi significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste F da análise de variância, no fator isolado doses. Já o potencial osmótico (Ψ_s) obteve interação significativa a 1% de probabilidade. O TRA apresentou ajuste ao modelo de segundo grau, aumentando com o aumento das doses de biochar. Na dose de 0,75% de biochar de casca de coco foi verificado o maior valor de TRA = de 57,74 (Figura 17A). Já para o Ψ_s verificou-se ajuste quadrático para os tratamentos em condições de estresse salino, porém com comportamento inverso, obteve-se o menor potencial osmótico na dose 0,58% com um valor de -1,09 MPa. Para o Ψ_s nos tratamentos sem estresse salino, verificou-se

ajuste linear, sendo que com o aumento das doses de biochar ocorreu uma diminuição do Ψ_s de 21,43% em relação a dose zero (Figura 17B).

Figura 17 – Teor relativo de água (TRA) e potencial osmótico (Ψ_s) na folha, em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde.



Fonte: autora (2021).

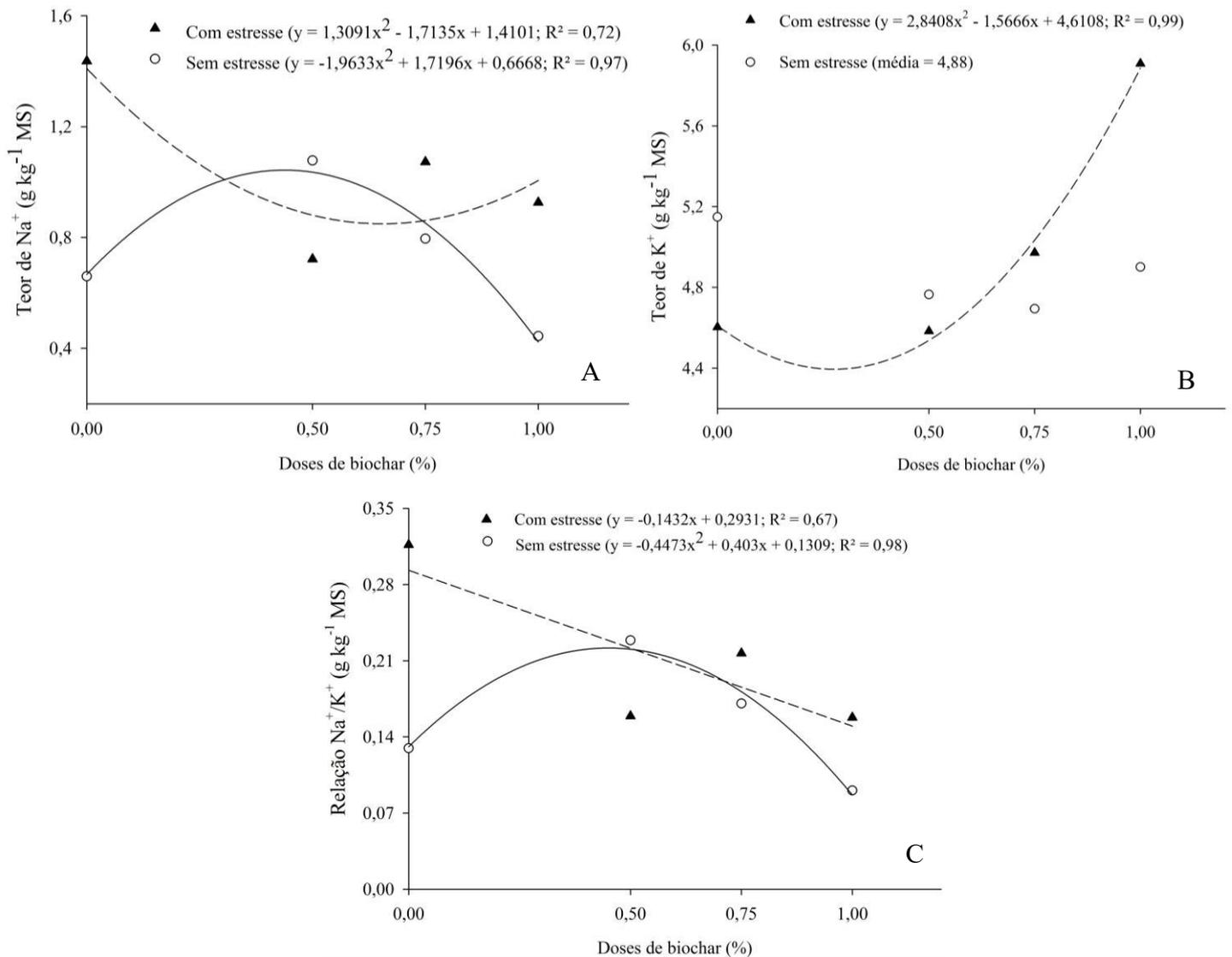
4.3 Solutos inorgânicos

No que diz respeito aos solutos inorgânicos avaliados nas folhas, a salinidade não foi significativa apenas no teor de K^+ . Já a interação entre os fatores salinidade e doses, foi significativa a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), pelo teste F da análise de variância, tanto para os teores de nutrientes, quanto para a relação Na^+/K^+ .

Para o teor de Na^+ foi ajustada uma equação polinomial quadrática tanto para as plantas com estresse como para as plantas sem estresse. Com isso, verificou-se que o menor teor deste elemento nas folhas foi de $0,85 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ quando aplicada a dose de 0,65% de biochar de casaca de coco, representando redução de 39,72% do Na^+ em relação ao tratamento com 0% de biochar. Já para as plantas sem estresse, o biochar apresentou um comportamento em que ele aumentou o teor de Na^+ com o incremento do biochar e depois reduziu esse teor com as doses máximas do biochar. (Figura 18A).

O K^+ , por sua vez, não apresentou diferença entre as médias para as plantas sem estresse, entretanto, nas plantas com estresse, foi ajustada uma equação polinomial quadrática, observando um aumento de 21,6% do teor de K^+ com o incremento máximo de biochar (Figura 18B). Já no que diz respeito à relação Na^+/K^+ observou-se ajuste ao modelo linear, observando decréscimo na relação com o aumento das doses de biochar de casca de coco de 48,86%. Já as plantas sem estresse apresentaram ajuste ao modelo quadrático, sendo a maior relação (0,22) obtida na dose de 0,45% de biochar (Figura 18C).

Figura 18 – (A) Teor de Na^+ , (B) Teor de K^+ e (C) relação Na^+/K^+ nas folhas, em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar de casca de coco verde (D).



4.4 Variáveis de produção

No que se refere as variáveis de produção, o número de vagens (NV) e o comprimento das vagens (CV) apresentaram significância, de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) no teste F da análise de variância, para o fator isolado salinidade. Já a variável massa seca de vagens (MSV) apresentou significância tanto para a salinidade quanto para as doses de biochar (Tabela 9).

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para as variáveis número de vagens (NV), comprimento de vagens (CV), número de lóculos (NL) e massa seca das vagens (MSV) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses de biochar (D) de casca de coco verde.

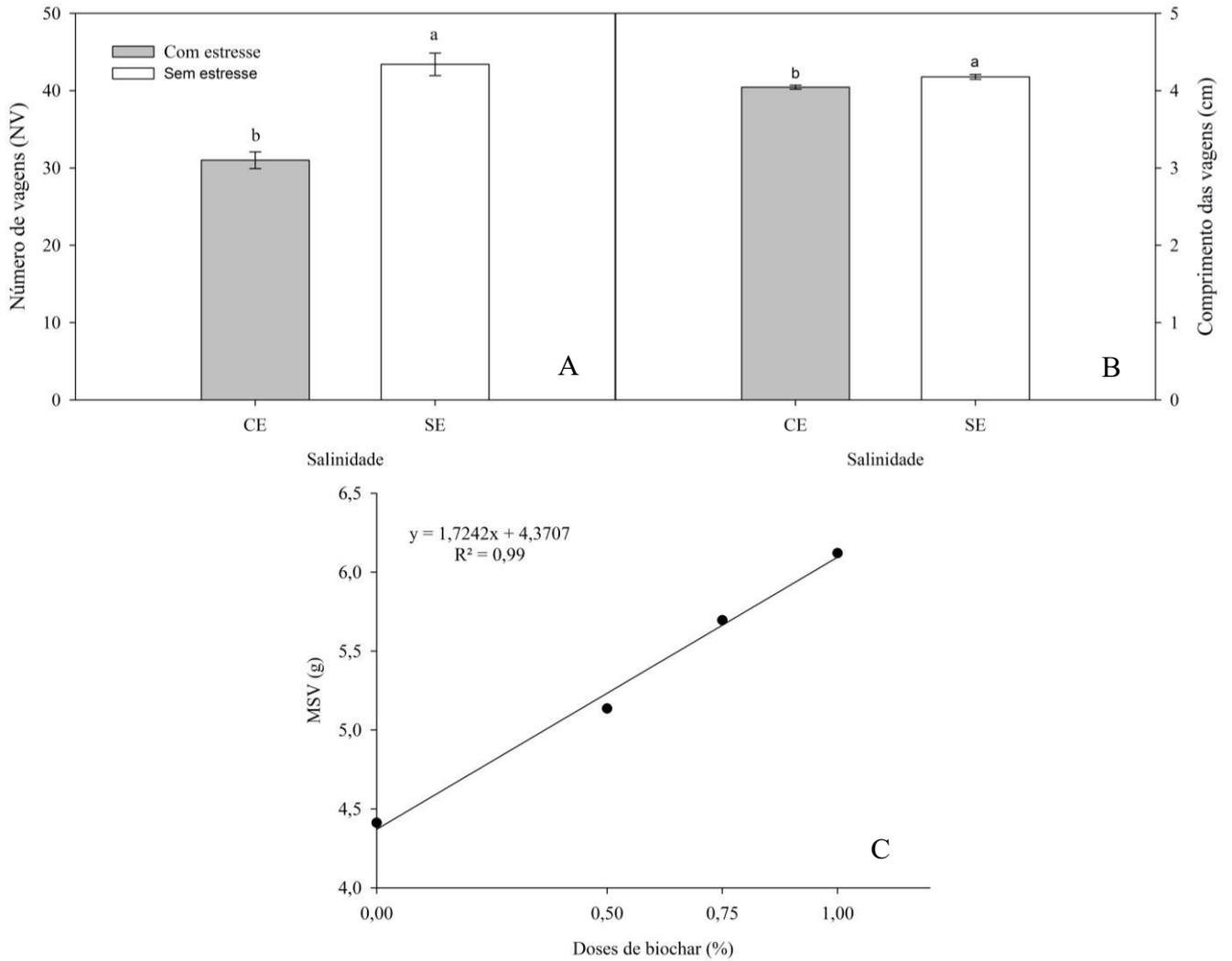
FV	GL	Valor de F			
		NV	CV	NL	MSV
Salinidade (S)	1	49,05**	10,90**	0,86 ^{ns}	6,93*
Doses (D)	3	2,36 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,82 ^{ns}	9,06**
Int. S X D	3	1,08 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Resíduo	32	-	-	-	-
Total	39	-	-	-	-
CV(%)		15,05	3,02	5,6	14,54

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

Fonte: elaborada pela autora.

Ao observar a Figura 19A é possível verificar que o NV de plantas com estresse salino é menor do que o NV de plantas sem estresse, sendo essa diferença de 28,57%. Já em relação ao comprimento, apesar de terem demonstrado diferença, este valor foi bem baixo, sendo o CV das plantas sem estresse 3,22% maior que os das plantas com estresse (Figura 19B). Já a MSV com estresse foi apenas 11,31% menor do que a das plantas sem estresse. No que se refere as doses, houve um aumento linear de 28,24% na MSV com a dose máxima do biochar (Figura 19C).

Figura 19 – (A) Número de vagens, (B) comprimento de vagens (cm) e (C) massa seca de vagens (g) em plantas de soja submetidas a condições distintas de salinidade (S) e doses (D) de biochar de casca de coco verde. Letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tuckey a 1% de probabilidade. As barras representam o erro padrão.



Fonte: autora (2021).

4. DISCUSSÃO

De maneira geral, a salinidade afetou o crescimento da cultura da soja, independente da adição de doses de biochar. A adição de biochar de casca de coco causou efeitos negativos em algumas variáveis de crescimento. Esses resultados divergem de trabalhos que encontraram resultados positivos no crescimento das culturas com o incremento da dose de biochar, tais como para a cultura do trigo (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015a; KANWAL *et al.*, 2018), sorgo (IBRAHIM *et al.*, 2020) e batata (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015a). No entanto, outro trabalho feito por Akhtar *et al.* (2015b) não demonstrou efeito significativo da adição de biochar na maioria das variáveis de crescimento do trigo.

O efeito da salinidade nas plantas pode ser dividido em duas fases, a primeira é considerada imediata e é resultado do efeito osmótico, já a segunda, é referente ao efeito iônico e ocorre ao longo do tempo (MUNNS; TESTER, 2008). A salinidade pode afetar as plantas de várias maneiras como, por exemplo, o seu crescimento, rendimento dos grãos, desfolha, condutância estomática e características anatômicas da folha (DOLATABADIAN; MODARRES SANAVY; GHANATI, 2011; GHASSEMI-GOLEZANI *et al.*, 2009; LI *et al.*, 2006; MUNNS; TESTER, 2008).

De maneira geral, foi possível observar que as plantas com estresse salino tiveram redução nos seus parâmetros de crescimento avaliados, exceto a altura. Tanto a redução no número de folhas como na área foliar, são mecanismos adaptativos de plantas sob estresse salino em resposta ao efeito osmótico (DE OLIVEIRA *et al.*, 2011; MUNNS; TESTER, 2008; TAIZ *et al.*, 2017), uma vez que a redução da disponibilidade da água afeta o crescimento e expansão da folha (Dias *et al.*, 2016).

Essa redução na área foliar pode acarretar em menor fotossíntese global da planta (MUNNS; TESTER, 2008), uma vez que a fotossíntese está relacionada com a área foliar (DE OLIVEIRA *et al.*, 2011). Thomas *et al.*, (2013) em estudo com duas plantas herbáceas, encontraram efeito positivo da aplicação de biochar na área foliar para apenas uma das espécies analisadas. Com isso, podemos considerar que o efeito do biochar também pode estar relacionado as espécies vegetais. Neste estudo, porém, doses elevadas do biochar contribuíram para a redução das variáveis referentes à área foliar (AF, AFE e RAF).

O estresse pode ser definido baseado em custos de energia, por exemplo, a energia que a planta adquire pode ser reduzida ou realocada do seu crescimento para se defender do

estresse (MUNNS; GILLIHAM, 2015). O primeiro caso pode ser relacionado com a área foliar, área foliar específica e razão de área foliar. O segundo, pode ser elucidado com a partição da biomassa e razão raiz/parte aérea. As plantas sob estresse investiram seus recursos na produção da parte aérea, em detrimento do sistema radicular. Quando visto mais detalhado, com a partição da biomassa para cada órgão da planta, esse investimento foi mais pronunciado na produção de folhas e de vagens. Além disso, também foi observado que, com o incremento das doses de biochar, maior foi a porcentagem da biomassa destinada para as vagens.

Apesar de ter investido mais na parte aérea, o incremento do crescimento das plantas, com a dose de biochar, não resultou em maior biomassa da parte aérea, nas plantas com estresse, se comparadas com as sem estresse, uma vez que estas apresentaram menor número de folhas e tamanho, além do diâmetro do caule.

De acordo com Munns e Tester (2008), o crescimento da parte aérea é mais sensível aos efeitos da salinidade do que o crescimento do sistema radicular. Isso foi visto por Azevedo Neto e Tabosa (2000), ao avaliarem o crescimento de cultivares de milho sob estresse salino. Entretanto, neste trabalho, foi observado o contrário, corroborando com Gurgel *et al.* (2003), que verificaram que o sistema radicular da acerola foi mais afetado pela salinidade do que a parte aérea. Com isso, podemos aferir que essa sensibilidade pode depender da espécie e das condições de cultivos. Essa redução no crescimento do sistema radicular pode ter sido devido a presença de íons de Na^+ ao redor das raízes (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015a), tanto pela presença da salinidade, como liberados pelo biochar. No entanto, não foi possível avaliar teor de Na^+ no solo neste experimento, sendo necessários novos estudos para poder confirmar.

Apesar de não ter influenciado no crescimento da soja, a adição das doses de biochar teve efeito positivo na fisiologia da planta representado pelas variáveis A , g_s , E , Ci/Ca , e EiC , resultados que diferem dos encontrados por Thomas *et al.* (2013) em duas espécies herbáceas. Os efeitos positivos do biochar no crescimento ou fisiologia das plantas pode ser atribuído ao seu poder de adsorção de Na^+ , que pode levar a redução da absorção de Na^+ pelas plantas ou pela exclusão do Na^+ das raízes ou ambos. No entanto, esse Na^+ adsorvido não fica indisponível para a planta, porém sua concentração na solução do solo é reduzida. Entretanto, pode ser que esse efeito tenha um limite de duração (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015a).

O estresse salino causa diversos efeitos nas culturas, dentre eles, o fechamento estomático. Ao fechar os estômatos, há uma redução das trocas gasosas, conseqüentemente, redução da fixação de carbono nas folhas e conseqüente inibição da fotossíntese (TAIZ *et al.*, 2017; CHAVES; OLIVEIRA, 2004). Essa redução na g_s pode ter sido a principal causa da diminuição da fotossíntese, uma vez que se observou redução paralela da razão C_i/C_a (SINGH; RAJA REDDY, 2011).

A adição de doses de biochar nas plantas de soja sob estresse salino aumentou sua g_s , em relação as que não receberam biochar, aumentando, assim, a sua fotossíntese. Essa resposta também foi encontrada por (AKHTAR *et al.*, 2015) em plantas de milho sob estresse salino e adição de biochar. Podemos aferir que as plantas com incremento das doses de biochar estavam sob estresse fotossintético menor do que as plantas sem biochar. Isso pode ser explicado devido a capacidade do biochar de melhorar a retenção da água no solo, fazendo com que houvesse a diluição do sal ao redor das raízes e, com isso, reduzindo o estresse osmótico (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015b). Uma vez que o fechamento dos estômatos pode ser atribuído ao efeito osmótico causado pela salinidade (MUNNS, 2002; MUNNS; TESTER, 2008).

A redução da transpiração devido ao fechamento dos estômatos ajuda a melhorar a eficiência do uso da água (PARRY; FLEXAS; MEDRANO, 2005). No entanto, a adição de doses de biochar nas plantas de soja sob estresse salino aumentaram sua condutância estomática, em relação as plantas que não receberam biochar, aumentando, assim, a sua fotossíntese. A eficiência intrínseca do uso da água (EUA intr.) foi maior nas plantas que apresentaram menores valores de g_s , A e E , diferindo de Akhtar *et al.* (2015a), que concluíram que o aumento da EUA intr. em plantas sob estresse e doses de biochar obtiveram melhores desempenhos.

Em condições de alta luminosidade em paralelo com a redução de CO_2 no cloroplasto, devido ao fechamento do estômato, a planta pode sofrer fotoinibição (CHAVES; OLIVEIRA, 2004). Essa luz que não é utilizada pela fotossíntese pode gerar danos e até inativar o PSII (TAIZ *et al.*, 2017). Mudanças nos parâmetros de fluorescência da clorofila a podem ser utilizados como um mecanismo para identificar a tolerância ao sal (BELKHODJA *et al.*, 1994), uma vez que a fluorescência da clorofila reflete informações sobre a eficiência da fotossíntese (BJÖRKMAN; DEMMIG, 1987).

Neste estudo, alguns parâmetros da fluorescência da clorofila *a* foram afetados positivamente com a adição de doses de biochar. Nas plantas com estresse, houve aumento no rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{PSII}) e taxa de transporte de elétrons (ETR) indicando maior capacidade fotoquímica e maior eficiência na transferência de elétrons de energia luminosa para o PSII (HUANG *et al.*, 2011). A F_v/F_m também aumentou nas plantas com estresse, já nas plantas sem estresse, com o incremento das doses de biochar houve uma redução, indicando a presença de danos fotoinibitórios no PSII.

O NPQ alto indica que a energia luminosa disponível excede a capacidade fotossintética da planta, portanto, essa energia será dissipada em forma de calor (energia térmica) (HUANG *et al.*, 2011). O *quenching* não fotoquímico (qN) é um dos principais processos que regulam a distribuição de energia em excesso para os centros de reação, ou seja, protegem de fotodano (TAIZ *et al.*, 2017). O qN é inverso a eficiência da fotossíntese, uma vez que ele é responsável por liberar essa energia para outro processo, que não a fotossíntese. No entanto, mesmo as plantas com estresse apresentando qN igual, independente da dose de biochar, as plantas com dose de biochar obtiveram um melhor rendimento fotossintético geral.

Neste trabalho o biochar não teve efeito significativo no índice relativo de clorofila (IRC), contrariando trabalhos que apresentaram tanto o efeito positivo do biochar (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015b) como negativo (AKHTAR *et al.*, 2014; AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015a; KAMMANN *et al.*, 2011). No entanto, as plantas com estresse tiveram aumento do IRC em comparação às plantas sem estresse.

O índice relativo de clorofila (IRC) pode ser relacionado ao teor de N nas folhas e, conseqüentemente, a clorofila, com base na sua coloração verde (GODOY *et al.*, 2008; MALAVOLTA *et al.*, 2004). Além disso, esse índice é medido de forma rápida e pontual. A possível resposta a esse IRC mais alto nas plantas com estresse, pode ser atribuída às mudanças nas folhas (GODOY *et al.*, 2008), como área foliar, área foliar específica e razão de área foliar. Uma vez que folhas menores e mais grossas dos tratamentos com estresse podem superestimar esse valor, em comparação às plantas sem estresse, devido a uma maior densidade de cloroplasto por unidade de área foliar (MUNNS; TESTER, 2008).

Apesar do valor mais alto do IRC nas plantas com estresse, ele não condiz com uma melhora no teor de clorofila pois, tanto o conteúdo de clorofila *a* como clorofila total reduziram, linearmente, com o incremento das doses de biochar. No entanto, não foi observada significância em relação a salinidade. Como já observado, o teor de N na planta

pode ser relacionado ao teor de clorofila devido a sua presença na sua estrutura. O biochar pode alterar a dinâmica do N no solo (BRUUN *et al.*, 2012), por exemplo, Akhtar *et al.* (2014) e Kammann *et al.* (2011) encontraram uma redução significativa de N na folha com o incremento das doses de biochar. Uma das possíveis respostas para a redução do conteúdo da clorofila pode ser devido a uma redução do conteúdo de N na planta em resposta ao efeito do biochar (AKHTAR *et al.*, 2014).

Outro fator que pode ser atribuído a redução da clorofila seria a presença de sais, liberados pelo próprio biochar, devido a sua composição, uma vez que estes sais aumentam a atividade da clorofilase (TAIZ *et al.*, 20017). O fato da clorofila ter se mantido alta no tratamento com estresse e sem biochar retoma a conclusão de que a redução da fotossíntese pode ter sido devida a limitação estomática.

A aplicação do biochar afetou as relações hídricas das plantas. A salinidade não afetou o teor relativo de água (TRA), no entanto, a adição de doses de biochar foi capaz de aumentar o TRA, até certo ponto, e diminuindo à adição da dose máxima = (dose 1%) avaliada. Em trabalho com tomate e estresse hídrico, o biochar também afetou positivamente o TRA (AKHTAR *et al.*, 2014). Uma possível resposta seria devido ao biochar influenciar na capacidade de retenção de água no solo (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015b; GLASER; LEHMANN; ZECH, 2002), mantendo, assim, as células túrgidas. No entanto, neste trabalho, a capacidade de retenção de água do solo não foi avaliada em função das doses de biochar.

Além disso, a adição do biochar reduziu o potencial osmótico Ψ_s tanto no tratamento com estresse salino como no tratamento sem estresse. Estes resultados são contrários aos observados por Kanwal *et al.* (2018), em que a aplicação de, biochar aumentou o Ψ_s em ambos os tratamentos, com e sem salinidade. O excesso de sais na solução do solo reduz o potencial osmótico do solo. O ajustamento osmótico é o mecanismo ao qual as plantas sob estresse salino absorvem esses íons para reduzir o Ψ_s das suas células e manterem um gradiente de potencial hídrico entre o solo e a planta (MUNNS; GILLIHAM, 2015; PRISCO; FILHO; MIRANDA, 2016), mantendo assim, seu turgor (MUNNS; GILLIHAM, 2015; SINGH *et al.*, 2015). É preciso lembrar que o ajustamento osmótico também diz respeito a solutos orgânicos, no entanto, estes não foram avaliados nesse trabalho.

As plantas com estresse e com a adição da dose mínima do biochar tiveram menor acúmulo de Na^+ nas folhas em comparação a planta com estresse e sem biochar. Tais resultados estão de acordo com os encontrados por Akhtar; Andersen; Liu, (2015b). No

entanto, também houve um aumento do teor de Na^+ nas plantas sem estresse e nas com estresse com maiores porcentagens de biochar. Isso pode ter sido devido a liberação de Na^+ pelo próprio biochar, quando se observa a quantidade desse nutriente na matéria prima. Tal conclusão seria melhor comprovada com a avaliação do teor de Na^+ no lixiviado. No entanto, não foi possível fazer esse monitoramento neste estudo.

Com a adição de doses de biochar foi verificado, aumento do teore de K^+ nas folhas das plantas com estresse, o que é muito positivo para o metabolismo vegetal, uma vez que, no estresse salino, altas concentrações de Na^+ na solução do solo competem pelos sítios de absorção do K^+ fazendo com que aumente a relação Na^+/K^+ na célula, ocasionando distúrbios fisiológicos (PRISCO; FILHO; MIRANDA, 2016). Mesmo quando as maiores doses de biochar aumentaram os teores de Na^+ na folha, ele também aumentou os teores de K^+ , fazendo com que a relação Na^+/K^+ se mantivesse baixa. Um dos efeitos mais severos da salinidade seria o aumento da relação Na^+/K^+ no citosol celular (PRISCO; FILHO; MIRANDA, 2016).

Apesar do biochar não ter tido efeito positivo aparente nas variáveis de crescimento, e ter demonstrado efeito negativo nas variáveis referentes a área foliar, refletiu positivamente na produção. Mesmo com menor produção de vagens das plantas com estresse, em comparação às sem estresse, a adição de biochar teve uma influência linear positiva na matéria seca das vagens. Dessa forma, podemos aferir que a melhoria dos parâmetros fisiológicos ocasionadas pelo biochar, pode ser expressa com essa melhora na MSV. O que vai de encontro a proposição de Munns e Gilliam (2015), que afirmam que quanto menos energia as plantas gastarem para se proteger do estresse e focarem em melhorar sua eficiência metabólica e fisiológica, principalmente durante o desenvolvimento floral e enchimento dos grãos, mais energia estará disponível para a produção dos grãos.

De maneira geral, o declínio de algumas das variáveis de crescimento, fisiológicas e bioquímicas com a adição de doses maiores de biochar pode ser atribuído ao fato da sua matéria prima conter nutrientes que, em excesso, podem ser prejudiciais as plantas (GAVILI; MOOSAVI; KAMGAR HAGHIGHI, 2019). Dessa forma, é preciso mais estudos para conhecer o mecanismo de atuação do biochar de casca de coco verde e entender como ele, de fato, resultou em ganhos metabólicos na fotossíntese. As próximas perguntas que podem ser feitas para o biochar dessa matéria prima seriam: quanto de Na^+ que ele é capaz de adsorver?; quanto que a liberação de nutrientes pelo próprio biochar induz prejuízos a cultura?; e como ele melhorou os mecanismos fisiológicos que foram beneficiados com a sua adição. No mais,

seria importante identificar esses fatores para comprovação da eficiência do biochar de casca de coco verde, principalmente no Nordeste, onde se tem um grande residual dessa matéria prima que, atualmente, é um passivo ambiental.

4 CONCLUSÃO

O biochar de casca de coco verde não apresentou incremento no crescimento de plantas de soja cultivadas sob estresse salino.

O incremento da dose de biochar resultou em ganhos metabólicos na fotossíntese, o que refletiu numa melhora da produção. O incremento na condutância estomática apresentou-se como um fator chave para isso, no entanto, esse mecanismo não está elucidado e precisa de uma melhor investigação.

O biochar em doses elevadas foi prejudicial a maioria das variáveis de crescimento, fisiológicas e bioquímicas avaliadas, o que pode ser atribuído a uma possível liberação de nutrientes em excesso pelo biochar.

O biochar disponibilizou K^+ para as plantas, acumulando-o na parte aérea, reduzindo a relação Na^+/K^+ nas folhas, sendo um fator chave para a atenuação do estresse salino.

A dose que proporcionou melhor resposta das plantas de soja submetidas ao estresse salino foi, no geral, a dose de 0,5%.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. et al. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. **Chemosphere**, v. 99, p. 19–33, 2014.
- AKHTAR, S. S. et al. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 138, p. 37–44, 2014.
- AKHTAR, S. S. et al. Interactive effect of biochar and plant growth-promoting bacterial endophytes on ameliorating salinity stress in maize. **Functional Plant Biology**, v. 42, n. 8, p. 770–781, 2015.
- AKHTAR, S. S.; ANDERSEN, M. N.; LIU, F. Biochar Mitigates Salinity Stress in Potato. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 201, n. 5, p. 368–378, 2015a.
- AKHTAR, S. S.; ANDERSEN, M. N.; LIU, F. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. **Agricultural Water Management**, v. 158, p. 61–68, 2015b.
- ALI, S. et al. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 14, p. 12700–12712, 2017.
- AQUINO, A. J. S. DE et al. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 961–971, 2007.
- AZEVEDO NETO, A. D. DE; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 159–164, 2000.
- BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological sciences**, v. 15, p. 413–428, 1962.
- BASSO, S.M.S. Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC e *Lotus* L. 1999. 268p. **Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 1999.
- BELKHODJA, R. et al. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Plant Physiology**, v. 104, n. 2, p. 667–673, 1994.
- BENITES, V. D. M. et al. Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as Terras Pretas de Índio. **As Terras Pretas de Índio da**

Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas, p. 285–296, 2009.

BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v. 170, n. 4, p. 489–504, 1987.

BRUUN, E. W. et al. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 46, p. 73–79, 2012.

CARILLO, P.; RAIMONDI, G.; KYRIACOU, M. C.; PANNICO, P.; EL-NAKHEL, C.; CIRILLO, V.; COLLA G.; PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Morpho-physiological and homeostatic adaptive responses triggered by omeprazole enhance lettuce tolerance to salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 22-30, 2019.

CARRIJO, Osmar Alves; LIZ, Ronaldo Setti de; MAKISHIMA, Nozomu. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 4, n. 20, p. 533-535, dez. 2002.

CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, R. V.; HERANDEZ, F. F. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, T. J.; NUNES, J. C.; LIMA, G. S. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p.151-162, 2016.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: Prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2365–2384, 2004.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v. 7, n. 6, p. 1–89, 2021.

COSTA, R. S. Respostas fisiológicas, nutricionais e reprodutivas em plantas de feijão-de-corda cultivadas sob fontes de adubos. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará**, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2020.

DE OLIVEIRA, F. DE A. et al. Performance of lettuce cultivars under different salinity levels of irrigation water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 771–777, 2011.

DE OLIVEIRA, F. M.; COELHO, L. M.; DE MELO, E. I. Evaluation of the adsorption process using green coconut mesocarp for removal of methylene blue dye. **Revista Materia**, v. 23, n. 4, 2018.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F., SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. F.; DE SOUSA NETO, O. N.;

- QUEIROZ, I. S. R. Efeito dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p.151-162, 2016.
- DOLATABADIAN, A.; MODARRES SANAVY, S. A. M.; GHANATI, F. Effect of Salinity on Growth, Xylem Structure and Anatomical Characteristics of Soybean. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 3, n. 1, p. 41–45, 2011.
- EKEBAFE, M. O.; EKEBAFE, L. O.; MALIKI, M. Utilisation of biochar and superabsorbent polymers for soil amendment. **Science Progress**, v. 96, n. 1, p. 85–94, 2013.
- FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Production. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca6463en/ca6463en.pdf>. Acesso em: 2 de julho de 2021.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. “Stages of soybean development” (1977). Special Report. 80. **Iowa State University**, p. 1–12, 1977.
- GAVILI, E.; MOOSAVI, A. A.; KAMGAR HAGHIGHI, A. A. Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean? **Industrial Crops and Products**, v. 128, n. March 2018, p. 445–454, 2019.
- GHASSEMI-GOLEZANI, K. et al. Response of soybean cultivars to salinity stress. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 7, n. 2, p. 401–404, 2009.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - A review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 4, p. 219–230, 2002.
- GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. S.; BÔAS, R. L. V.; LEITE JÚNIOR, J. B. C. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 32, n. 1, p. 217–226, 2008.
- GRIEVE, C. M.; GRATTAN, S. R.; MAAS, E. V. Chapter 13 Plant Salt Tolerance. **Agricultural Salinity. Assessment and Management (2nd Edition)**, n. 71, p. 405–459, 2012.
- GURGEL, M. T. et al. Índices Fisiológicos E De Crescimento De Um Porta-Enxerto De Aceroleira Sob Estresse Salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 451–456, 2003.
- HIRAKURI, M. H. Perdas econômicas geradas por estresses bióticos e abióticos na produção brasileira de soja no período. 2021.
- HUANG, D. et al. Morphological plasticity, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Athyrium pachyphlebium* at different shade levels. **Photosynthetica**, v. 49, n. 4, p. 611–618, 2011.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, DPE, COAGRO - **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE/LSPA. **Levantamento sistemático da Produção Agrícola**. Fortaleza: IBGE/GCEA-CE. Dezembro. Séries 2016, 2017 e 2018. Documento impresso.

IBRAHIM, M. E. H. et al. Biochar improved sorghum germination and seedling growth under salinity stress. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 2, p. 911–920, 2020.

KAMMANN, C. I. et al. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil-plant relations. **Plant and Soil**, v. 345, n. 1, p. 195–210, 2011.

KANWAL, S. et al. Application of biochar in mitigation of negative effects of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 4, p. 526–538, 2018.

LACERDA, C. F. et al. Soil Salinization and Maize and Cowpea Yield in the Crop Rotation System Using Saline Waters Salinização Do Solo E Produtividade De Milho E Feijão Caupi Em Sistema De Rotação Cultural Utilizando Águas Salinas Resumo: a. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v. 31431, n. 4, p. 663–675, 2011.

LAX, A. et al. Reclamation of physical and chemical properties of a salinized soil by organic amendment. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, v. 8, n. 1, p. 9–17, 1994.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Soja Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro. 2010.

LEHMANN, J. A handful of carbon. **Nature**, v. 447, n. 7141, p. 143–144, 2007.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 11, n. 2, p. 403–427, 2006.

LI, X. et al. Salinity and defoliation effects on soybean growth. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, n. 8, p. 1499–1508, 2006.

MALAVOLTA, E. et al. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 7–8, p. 1007–1019, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: **POTAFOS**, 1997. 201p.

MARTINS, C. R.; JESUS JUNIOR, L. A. DE. comércio internacional - Panorama 2010

- Panorama 2010. **Documentos**, v. 164, p. 32, 2011.
- MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; DA COSTA, A. R. F. C.; TOMAZ, H. V. Q. Manejo do solo-água-plantas em áreas afetadas por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p.151-162, 2016.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 2, p. 239–250, 2002.
- MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops - what is the cost? **New Phytologist**, v. 208, n. 3, p. 668–673, 2015.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008.
- NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. **Estádios de desenvolvimento da cultura de soja**. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/456809/1/ID-12906.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2021.
- NOVAK, J. et al. Biochars multifunctional role as a novel technology in the agricultural, environmental, and industrial sectors. **Chemosphere**, v. 142, p. 1–3, 2016.
- PARRY, M. A. J.; FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Prospects for crop production under drought: Research priorities and future directions. **Annals of Applied Biology**, v. 147, n. 3, p. 211–226, 2005.
- PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308–1324, 2015.
- PEREIRA, C. L. Aproveitamento do resíduo do coco verde para produção de compósitos destinados à construção rural. p. 1–137, 2012.
- PETTER, F. A.; ALVES, A. U.; SILVA, J. A.; CARDOSO, E. A.; ALIXANDRE, T. F.; ALMEIDA, F. A.; PACHECO, L. P. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de doses e épocas de aplicação de potássio. **Semina: Ciências Agrárias**. v.35, n.1, p.89-100, 2014.
- PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E.; MIRANDA, R. S. Physiology and biochemistry of plants growing under salt stress. In: In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p.151-162, 2016.
- RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES

FILHO, E. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza**, INCTSal, p.151-162, 2016.

RAFIQ, M. K. et al. Influence of pyrolysis temperature on physico-chemical properties of corn stover (*zea mays l.*) biochar and feasibility for carbon capture and energy balance. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1–17, 2016.

RIZWAN, M. et al. Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 3, p. 2230–2248, 2016.

ROSA, M. F.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; SANTOS, F. J. de S.; ABREU, F. A. P. de; FURTADO, A. A. L.; BRIGIDO, A. K. L.; NOROES, E. R. de V. Utilização da casca de coco como substrato agrícola. **EMBRAPA**, Série Documentos 52. Fortaleza, 2002.

SAIFULLAH et al. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 625, n. December, p. 320–335, 2018.

SHARIFI, M.; GHORBANLI, M.; EBRAHIMZADEH, H. Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 9, p. 1144–1151, 2007.

SILVA, A. C. DA. Reaproveitamento Da Casca De Coco Verde. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 4077–4086, 2014.

SINGH, M. et al. 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, 2015.

SINGH, S. K.; RAJA REDDY, K. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 105, n. 1, p. 40–50, 2011.

SOUZA, C. C. et al. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 338–342, 2000.

SRIVASTAVA, P. K. et al. Amelioration of Sodic Soil for Wheat Cultivation Using Bioaugmented Organic Soil Amendment. **Land Degradation and Development**, v. 27, n. 4, p. 1245–1254, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TEJADA, M. et al. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation:

Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 6, p. 1413–1421, 2006.

THOMAS, S. C. et al. Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. **Journal of Environmental Management**, v. 129, p. 62–68, 2013.

UNITED NATIONS. **The State of the World's Land and Water Resources: Managing Systems at Risk**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.

VERNETTI, F. DE J.; GASTAL, M. F. DA C. Descrição Botânica da Soja. **Circular Técnica N°7**, p. 1–11, 1979.

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.

WOOLF, D. et al. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, v. 1, n. 5, 2010.

YOOYEN, J.; WIJITKOSUM, S.; SRIBURI, T. Increasing yield of soybean by adding biochar. **Journal of Environmental Research and Development**, v. 9, n. 4, p. 1066–1074, 2015.

ZAMAN, M.; SHAHID, S. A.; HENG, L. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. **Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques**, n. January, 2018.