



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DÉBORA GONÇALA GOMES DA SILVA**

**CARVÃO HIDROTÉRMICO: EFEITOS NO SOLO E O FEIJOEIRO SUBMETIDOS  
À SALINIDADE**

**FORTALEZA**

**2024**

DÉBORA GONÇALA GOMES DA SILVA

CARVÃO HIDROTÉRMICO: EFEITOS NO SOLO E O FEIJOEIRO SUBMETIDOS À  
SALINIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água.

Orientador: Prof. Dr. Helon Hébano de Freitas Sousa.

FORTALEA  
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S579c Silva, Débora Gonçala Gomes da.  
Carvão hidrotérmico: Efeitos no solo e o feijoeiro submetidos à salinidade / Débora Gonçala Gomes da Silva. – 2024.  
55 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Helon Hébano de Freitas Sousa.

1. Semiárido. 2. Feijão-caupi. 3. Agricultura. 4. Recuperação de solos. 5. Estresse salino. I. Título.  
CDD 631.4

DÉBORA GONÇALA GOMES DA SILVA

CARVÃO HIDROTÉRMICO: EFEITOS NO SOLO E O FEIJOEIRO SUBMETIDOS À  
SALINIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água

Aprovado em: 28/02/2024

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Helon Hébano de Freitas Sousa (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Ícaro Vasconcelos do Nascimento  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha mãe, Maria do Socorro, educadora que  
mais acredita no poder transformador da  
educação.

## AGRADECIMENTOS

Ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento de Científico e Tecnológico (CNPq), do programa Cientista Chefe e da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e a Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho (SEDET).

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro por meio do projeto intitulado "Materiais Carbonáceos Funcionais obtidos a partir de resíduos agroindustriais"

Ao Prof. Dr. Helon Hébano de Freitas Sousa, pela excelente orientação e dedicação ao trabalho.

Os professores participantes da banca Prof<sup>a</sup>. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa, Dr. Ícaro Vasconcelos do Nascimento, Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota e Dra. Rafaela Batista Magalhães, pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos técnicos de laboratório, em especial ao Crisanto, técnico do Lab. de Química.

Aos funcionários da Fazenda Vale do Curu - Pentecoste, na pessoa do Sr. Guimarães, por toda ajuda e disponibilidade.

Aos meus colegas de turma e amigos Jean, Lucas, Marta, Sharon e Mirelio, por toda ajuda durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Ruan pelas ajudas em campo, laboratório e na escrita do trabalho.

À minha família e amigos por todo apoio.

A Deus, pela graça de poder estudar sua criação.

Eu só peço a Deus

Que o futuro não me seja indiferente

Sem ter que fugir desenganando

Pra viver uma cultura diferente

Leon Gieco/Raul Ellwanger

## RESUMO

A salinidade do solo é um problema edáfico comum em ambientes de clima semiárido. A hipótese deste trabalho é que o carvão hidrotérmico produzido a partir do bagaço de caju, mitiga a salinidade do solo, induzida com irrigação água salina, através da disponibilização de nutrientes favorecendo o desenvolvimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Uma possibilidade para recuperar áreas afetadas por sais é utilizando o carvão hidrotérmico que possui características químicas que o tornam versátil e promovem melhorias nos solos. O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes doses de carvão hidrotérmico produzido a partir do bagaço de caju no solo e no desenvolvimento de feijão-caupi submetido a irrigação com água salina e não salina. O solo utilizado no experimento foi coletado em colunas com estrutura preservada na Fazenda Experimental Vale do Curu da Universidade Federal do Ceará (Pentecoste – CE). A camada de 0-15 m dessa coluna foi retirada e revolvida com doses de 0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup> de carvão hidrotérmico produzido a partir de bagaço de caju. O solo com carvão hidrotérmico e sem carvão hidrotérmico ficou incubado por 30 dias, após esse período foi feito o plantio das sementes de feijão-caupi. Após a germinação, iniciou-se a irrigação com água salina e água sem sais. O experimento teve duração de 30 dias após a germinação. Foram feitas análises do solo para determinação do pH, a CEEs e os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>. Foram feitas análises do tecido vegetal para determinação dos macronutrientes Ca, Mg, K e P. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2 x 4, sendo utilizado o carvão hidrotérmico em 5 doses, 2 diferentes teores salinidade na água e 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais, estas foram subdivididas em quatro camadas, totalizando 160 amostras. Houve diferenças significativas nas interações entre os valores de salinidades, camadas e doses. O pH do solo ficou na faixa ótima (entre 5,5 e 6,5) para disponibilização de nutrientes, as concentrações dos nutrientes Ca, Mg e K aumentaram em comparação com o solo antes do tratamento, assim como também o Na. Nas plantas o Ca foi o nutriente em maior concentração, seguido do Mg, K e por fim, o P. Diante dos resultados, o carvão hidrotérmico foi eficiente em garantir o desenvolvimento do feijão-caupi, mesmo quando submetido a irrigação salina.

**Palavras-chave:** semiárido; feijão-caupi; agricultura; recuperação de solos; estresse salino.



## ABSTRACT

Soil salinity is a common soil problem in semi-arid climate environments. The hypothesis of this work is that hydrothermal charcoal produced from cashew bagasse mitigates soil salinity, induced with saline water irrigation, through the availability of nutrients, favoring the development of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). One possibility to recover areas affected by salts is using hydrothermal coal, which has chemical characteristics that make it versatile and promote soil improvements. The objective of this work was to evaluate the effects of different doses of hydrothermal charcoal produced from cashew bagasse on the soil and on the development of cowpea subjected to irrigation with saline and non-saline water. The soil used in the experiment was collected in columns with preserved structure at the Vale do Curu Experimental Farm of the Federal University of Ceará (Pentecoste – CE). The 0-15 m layer of this column was removed and stirred with doses of 0, 5, 10, 20 and 40 Mg ha<sup>-1</sup> of hydrothermal coal produced from cashew bagasse. The soil with hydrothermal charcoal and without hydrothermal charcoal was incubated for 30 days, after which cowpea seeds were planted. After germination, irrigation began with saline water and water without salts. The experiment lasted 30 days after germination. Soil analyzes were carried out to determine pH, ECes and Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> contents. Analyzes of plant tissue were carried out to determine the macronutrients Ca, Mg, K and P. The experimental design was completely randomized, in a 5 x 2 x 4 factorial scheme, using hydrothermal charcoal in 5 doses, 2 different salinity levels in the water and 4 replications, totaling 40 experimental units, these were subdivided into four layers, totaling 160 samples. There were significant differences in the interactions between salinity values, layers and doses. The soil pH was in the optimal range (between 5.5 and 6.5) for nutrient availability, the concentrations of nutrients Ca, Mg and K increased compared to the soil before treatment, as well as Na. In plants, Ca was the nutrient in highest concentration, followed by Mg, K and finally, P. Given the results, hydrothermal charcoal was efficient in guaranteeing the development of cowpea, even when subjected to saline irrigation.

**Keywords:** semiarid; cowpea; agriculture; soil recovery; salt stress.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização do município de Pentecoste no Ceará e pontos de coleta do solo.....	23
Figura 2	– Processo de coleta das colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	24
Figura 3	– Divisão da coluna de solo em quatro camadas.....	28
Figura 4	– pH do solo em função de doses de carvão hidrotérmico em colunas de solo com estrutura preservada coletadas em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	29
Figura 5	– CTC do solo em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	32
Figura 6	– Magnésio do solo em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	36
Figura 7	– PST do solo em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	41
Figura 8	– Cálcio no Feijão Caupi em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	44
Figura 9	– Magnésio no Feijão Caupi em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	44
Figura 10	– Potássio no Feijão Caupi em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Atributos químicos do solo utilizado no experimento.....	24
Tabela 2	– Características físicas do solo utilizado no experimento.....	24
Tabela 3	– Caracterização do biocarvão utilizado no experimento em colunas de solo com estrutura preservada coletado em pentecoste-ce no ano de 2022. $\pm$ Desvio padrão (n= 3). Digestão do biocarvão pelo modified dry ash (Enders e Lehmann, 2012) .....	25
Tabela 4	– Médias de pH do solo em função de camadas testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	28
Tabela 5	– pH do solo em função de camadas e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	29
Tabela 6	– CTC do solo em função de camadas submetido a doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	31
Tabela 7	– CTC do solo em função de salinidade e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	32
Tabela 8	– Cálcio do CTC do solo em função de salinidade, camadas e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada. S1= Água adicionada de sais; S2= Água sem adição de sais; C=camada. coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022	33
Tabela 9	– Cálcio do solo em função de camadas testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	34
Tabela 10	– Médias de Cálcio do solo em função da salinidade e das doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	35
Tabela 11	– Magnésio do solo em função da salinidade e das doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	36

Tabela 12	– Magnésio do solo função da correlação entre salinidade, camadas e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022 S=salinidade; C=camada.....	37
Tabela 13	– Sódio do solo em função das camadas, submetido a doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	38
Tabela 14	– Sódio do solo em função da salinidade correlacionada com camadas, submetido a doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022. Letras maiúsculas - Colunas; Letras minúsculas – Linhas.....	38
Tabela 15	– Sódio do solo em função da salinidade e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	38
Tabela 16	– Sódio do solo em função da salinidade, camadas e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022 S=salinidade; C=camada.....	39
Tabela 17	– Potássio do solo em função de camadas submetido a doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022.....	40
Tabela 18	– PST do solo em função de camadas testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022. Letras maiúsculas: Linhas; Letras minúsculas: Colunas.....	41

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>15</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>15</b>
3.1	SEMIÁRIDO .....	15
3.2	FEIJÃO-CAUPI ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) WALP.).....	16
3.4	BIOCARVÕES .....	20
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA E DO SOLO UTILIZADO NO EXPERIMENTO .....	23
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	24
4.3	OBTENÇÃO DO CARVÃO HIDROTÉRMICO .....	25
4.4	INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	26
4.4	ANÁLISES DE SOLO E TECIDO VEGETAL .....	27
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
5.1	pH DO SOLO .....	28
5.2	CTC DO SOLO .....	31
5.3	CÁLCIO NO SOLO .....	34
5.4	MAGNÉSIO NO SOLO.....	35
5.5	SÓDIO NO SOLO.....	37
5.6	POTÁSSIO NO SOLO.....	40
5.7	PST DO SOLO .....	41
5.8	CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NO FEIJÃO CAUPI .....	44
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural não renovável, tem múltiplas funções ecológicas como acúmulo de carbono e mitigação dos gases de efeitos estufa, é a base para o desenvolvimento de plantas e pilar para a garantia da segurança alimentar. Por conseguinte, manter os solos saudáveis e produtivos é fundamental para a promoção do equilíbrio ecológico.

No Brasil, mais especificamente no Nordeste, existem diferentes tipos de solos sendo os que possuem maior expressão geográfica os Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Luvisolos, Latossolos, Neossolos, Planossolos e Vertissolos (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2022), isso se deve às condições edafoclimáticas. Ademais, há diferentes tipos de agricultura e parte dos solos agricultáveis são cultivados desde período colonial do Brasil, enquanto o restante foi deixado em pousio ou utilizado para criação extensiva de gado. Diante desse contexto, graças às condições climáticas e ao manejo inadequado, graves problemas relacionados à desertificação e degradação do solo têm afetado os solos nordestinos.

A salinidade do solo é um problema edáfico comum em regiões de clima semiárido, que possuem baixa pluviosidade anual e elevada evaporação, e causa danos à produtividade do solo, uma vez que interfere no desenvolvimento das plantas, como a germinação da semente e desenvolvimento vegetativo, o que culmina na baixa densidade das plantas cultivadas.

O manejo inadequado e a baixa qualidade da água, com saís, utilizada na irrigação são práticas antrópicas que favorecem a salinização dos solos. O uso de água de baixa qualidade se dá devido à baixa pluviosidade anual da região semiárida e a água disponível para irrigação não ser adequada.

Para recuperar solos afetados por saís, um método é a lavagem e drenagem dos saís do solo, que se dá por meio da aplicação de uma lâmina de água que seja suficiente para lixiviar os saís das zonas mais superficiais para as mais profundas. Porém, conforme supracitado, a água de qualidade é um recurso limitado e, mesmo que ocorra a recuperação utilizando esse método, a salinização ainda seria uma ameaça pois a água utilizada para irrigação ainda não é de qualidade.

Outra forma de mitigar as condições supracitadas é por meio do uso de biocarvão, produto carbonáceo obtido em altas temperaturas, 100 a 700°C, e em atmosfera limitada em oxigênio. O biocarvão é versátil, capaz promover melhorias químicas, físicas e biológicas no solo. Há diferentes tipos de biocarvões, como o Pyrochar e o Carvão hidrotérmico, diferem em seus processos de produção, por exemplo, a biomassa utilizada para fazer o carvão

hidrotérmico não precisa estar seca, como é necessário para produzir o pyrochar, isso, além de outros aspectos, reverbera nas características do biocarvão.

A produção do carvão hidrotérmico, nesse contexto, dá-se a partir do reaproveitamento de resíduos, como o bagaço de caju. O caju é o pseudofruto do cajueiro (*Anacardium occidentale*) que tem como fruto a castanha. O cajueiro é uma planta nativa do Brasil, muito cultivada no Nordeste para a geração de diversos produtos derivados tanto do caju como da castanha.

Diante disso, a hipótese deste trabalho é que o carvão hidrotérmico produzido a partir do bagaço de caju, mitiga a salinidade do solo, induzida com irrigação água salina, através da disponibilização de nutrientes favorecendo o desenvolvimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

## **2 OBJETIVO GERAL**

Avaliar os efeitos de diferentes doses de carvão hidrotérmico, produzido a partir do bagaço de caju, no solo e no desenvolvimento de feijão-caupi submetido a irrigação com água salina e não – salina.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a disponibilidade dos cátions que compõem a CTC do solo;
- Avaliar a movimentação de íons no solo sob irrigação com água salina;
- Avaliar os nutrientes e desenvolvimento do feijão-caupi e sob doses de carvão hidrotérmico e irrigação com água salina;
- Determinar a dose mais adequada de carvão hidrotérmico a ser utilizada em solos salinos ou em áreas irrigadas com água salina.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 SEMIÁRIDO**

As áreas áridas, semiáridas e subúmidas (considerando a temperatura, evapotranspiração e precipitação) podem ser encontradas por várias regiões do mundo, sendo identificadas facilmente por uma das suas principais características, a baixa disponibilidade de água no solo decorrente dos baixos níveis pluviométricos (FENG; FU, 2013).

Estima-se que as áreas predominantemente secas ocupem, aproximadamente, 41% de toda extensão global (FENG *et al.*, 2018; MORTIMORE *et al.*, 2009). Essas regiões

comportam mais de 38% da população mundial que, por sua vez, permanece integrando um socioecossistema que está diretamente ligado aos processos de degradação e desenvolvimento não sustentável desses ecossistemas, supostamente mais susceptíveis a mudanças climáticas (HUANG et al., 2019; MAESTRE et al., 2012; REYNOLDS et al., 2007).

No Brasil, as terras com menor índice pluviométrico anual, mais conhecidas como o semiárido brasileiro, abrangem 1.128.697 Km<sup>2</sup>, correspondendo a 13,25% do território nacional que, segundo estimativa de 2017, é ocupado por cerca de 27.870.241 habitantes (BRASIL, 2017). A delimitação do semiárido brasileiro tem como critério a precipitação pluviométrica anual, igual ou inferior a 800 mm, percentual de diário de déficit hídrico igual ou superior a 60% e o índice de aridez de Thornthwaite inferior ou igual a 0,50 (SUDENE, 2021).

O semiárido nordestino dispõe, além da alta população residente, uma riqueza em biodiversidade. Dominado por um bioma exclusivamente brasileiro, a Caatinga ou o Domínio da Caatinga, apresenta uma das maiores diversidades biológicas em florestas secas do mundo e abriga mais de 2.000 espécies de plantas vasculares, mamíferos, aves, peixes, anfíbios e répteis (FERNANDES; QUEIROZ, 2018).

Solos de ambientes semiáridos como o do Nordeste brasileiro, são mais susceptíveis à processos de degradação relacionados ao excesso de sais, o que se deve às condições edafoclimáticas. Porém, esses processos podem ser agravados por atividades antrópicas, como a irrigação com água salina. Quando o solo é acometido por esse processo de degradação, há comprometimento de sua produtividade que culmina na instabilidade da segurança alimentar (CAVALCANTE et al. 2016; GARCIA-FRANCO et al., 2021).

### 3.2 FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.)

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa da família Fabaceae. Essa espécie de feijão, tradicionalmente chamada de feijão-caupi, feijão de corda, feijão fradinho ou macassar, é cultivada de forma abundante em locais áridos e semiáridos devido suas propriedades nutricionais, apesar desses ambientes apresentem déficit hídrico (DE MELO et al., 2022; GOMES et al., 2020). Globalmente, essa leguminosa é cultivada em 12,5 milhões de hectare de terras e, no Brasil, de acordo com a CONAB (2022), a área plantada corresponde 843,5 mil hectares.

Efeitos adversos foram observados ao cultivar feijão-caupi sob irrigação salina, pois houve redução na produtividade e desenvolvimento devido ao acúmulo de sais no solo (BEZERRA et al., 2010). O caupi é uma planta descrita como moderadamente tolerante à



salinidade do solo, mas mesmo que seja descrita dessa forma, a salinidade é um dos fatores abióticos que afeta o crescimento, produtividade e qualidade do feijão. A resistência ao estresse salino do feijão-caupi pode variar nos estágios de desenvolvimento, de modo que na germinação, por exemplo, ele é tolerante; no estágio de plântula e desenvolvimento vegetativo inicial é intolerante e volta a ser tolerante na maturidade (PEREIRA *et al.*, 2019; TLAHIG *et al.*, 2021; VARELA *et al.*, 2019; WIN; OO, 2015).

O feijão-caupi, mesmo apresentando resistência moderada à salinidade, bem como outros estresses abióticos como seca, calor e baixa fertilidade do solo, tem sua produtividade comprometida devido a esses fatores. A salinidade reduz o potencial hídrico do solo, restringindo a absorção de água pelas raízes. Adicionalmente, o estresse salino provoca o fechamento dos estômatos, culminando na redução do dióxido de carbono assimilado e na baixa produção de energia. Como consequência de tudo isso, a produção de biomassa e crescimento das plantas são afetados (DE CARVALHO *et al.*, 2016; GOGILE; ANDARGIE; MUTHUSWAMY, 2013; PEREIRA *et al.*, 2019; VARELA *et al.*, 2019). Além disso, no estudo realizado por Varela *et al.* (2019) foi identificado que genótipos de feijão resistentes, quando submetidos à estresse salino são mais propensos a doenças virais.

### 3.3 SALINIDADE DO SOLO

Solos afetados por sais representam 20% das terras cultivadas e a previsão é de que daqui a 30 anos, aproximadamente, essa porcentagem tenha aumentado para 50%, uma vez que a taxa de crescimento de áreas salinizadas é de 10% a cada década tendo como um dos agravantes as mudanças climáticas (CORWIN, 2021; GE *et al.*, 2022; TIAN *et al.*, 2020).

Solos salinos são caracterizados pela presença de sais solúveis na solução do solo. Os principais sais encontrados em solos salinos são os sulfatos, cloretos e bicarbonatos de Na, Ca e Mg. A presença desses elementos está associada a condições de má drenagem, baixa pluviosidade, presença de camadas impermeáveis e alta evapotranspiração (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). Solos afetados por sais são avaliados e caracterizados por valores de referência para condutividade elétrica (CE) e porcentagem de sódio trocável (PST) (Richards, 1954; PESSOA *et al.*, 2019).

Solos classificados como salinos são aqueles que expressam  $CE \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$  e  $< 7 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  (Richards, 1954; SANTOS *et al.*, 2018). Apresentam assim, elevadas concentrações de sais solúveis de modo a prejudicar o desenvolvimento de plantas devido ao estresse osmótico causado pelas características supracitadas (RIBEIRO; BARROS; FREIRE, 2009).

Os sais têm como fonte primária os minerais formadores das rochas que sofrem intemperismo químico, tendo a água o papel de agente carreador (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). O processo de salinização natural pode ocorrer a partir de processos como o alastramento de água salgada em terrenos, depositando sais; acúmulo de sais oriundos de áreas circunvizinhas; ascensão dos sais já existentes no terreno por capilaridade; e acumulação de sais devido as condições de relevo e drenagem (RIBEIRO; FREIRE; MONTENEGRO, 2003; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

O processo de salinização suscitada por atividades antrópicas ocorre por meio da deposição de água com excesso de sais através da irrigação e por ascensão dos sais à superfície em decorrência da elevação do lençol freático, em defluência ao manejo inadequado da irrigação (excesso de água e/ou ausência de drenagem) (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

Em solos salinos, devido à alta concentração de sais, ocorre também o aumento da força iônica da solução do solo, o que pode provocar a precipitação dos sais e a formação de crostas esbranquiçadas na superfície do solo. De acordo com as relações entre os íons e a solução do solo, é possível a formulação de um planejamento mais adequado para recuperação desses solos (RIBEIRO; BARROS; FREIRE, 2009).

O acúmulo de sal pode provocar ao solo, além danos químicos, danos físicos e biológicos. Ocorre o aumento do pH, toxicidade de cátions/ânions dominantes no solo, perda da matéria orgânica, deficiência de nutrientes e redução da atividade enzimática do solo (SAHAB *et al.*, 2021).

Os efeitos do acúmulo de sais na estrutura do solo, se devem às interações eletroquímicas existentes entre os cátions e argilas, de modo a propiciar problemas de permeabilidade, dependendo da natureza dos íons, que culminarão em casos de excesso de água em encharcamentos na superfície do solo, impedindo o desenvolvimento de plantas e falta de aeração (VAN DE CRAATS *et al.*, 2020).

O excesso de sais no solo tem efeitos adversos no desenvolvimento das plantas, uma vez que provoca o estresse osmótico e reduz a quantidade de água disponível e atividade fotossintética. Pode ocorrer o estresse iônico, causando toxidez de determinados íons e deficiência na disponibilização de nutrientes, além de redução na densidade e abertura dos estômatos. Além disso, o estresse salino pode retardar o desenvolvimento das plantas nos estágios iniciais do desenvolvimento (AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015; TIAN *et al.*, 2020; ZÖRB; GEILFUS; DIETZ, 2019; YU *et al.*, 2019).

O avanço da salinização do solo tem impacto direto nos processos de feedback climático, visto que solos salinos perdem carbono orgânico (SETIA *et al.*, 2013), além de promover a degradação do solo e interferir no progresso em direção ao desenvolvimento sustentável (GE *et al.*, 2022; ONU BRASIL, 2015; ZHENG *et al.*, 2022). Com a escalada do aquecimento global e as consequentes alterações climatológicas, a tendência é o declínio da qualidade do solo e aumento de áreas afetadas por sais. Isso interferirá na sua fertilidade e produtividade agrícola, além dos danos às suas funções ecológicas (CORWIN, 2021).

Considerando que o impacto negativo da salinidade no crescimento vegetal é o acúmulo de sais na rizosfera, é natural pensar que a sua remediação passa por neutralizar os íons e lixiviar esses sais no perfil, diminuindo sua concentração. Para isso é necessário água de qualidade e em abundância, além disso, é necessário que ocorra a drenagem da água (ZAMAN; SHAHID; HENG, 2018). Contudo, é exatamente onde as condições climáticas contribuem para salinização do solo, regiões áridas e semiáridas, que, na maioria das vezes, inexistem água em abundância e de qualidade. A escassez de água é comum nessas regiões e tende a se agravar com as alterações climáticas, assim os períodos de secas serão mais frequentes e a questão da salinização do solo torna-se um motivo de preocupação crescente, sobretudo quando essas regiões têm alto potencial de produção agrícola e importância social (ABBAS *et al.*, 2013; CORWIN, 2021; SINGH, 2018; SAIFULLAH *et al.*, 2018; UNİYAL; JHA; VERMA, 2015).

A recuperação de solos salinos é essencial para o bom desenvolvimento de culturas, reduzindo os danos em potencial. A lixiviação é uma medida que promove a retirada dos sais para longe da zona radicular. Apesar de ser eficaz na recuperação de solos salinos, pode ser limitada pela baixa disponibilidade hídrica onde esses solos ocorrem. Assim, é importante pensar em alternativas de controle de salinidade que dependam menos de água. Para mitigar os efeitos negativos provocados pela salinidade, são relatados manejos ligados ao solo, como correção química, aporte de matéria orgânica, como o vermicomposto (LIU *et al.*, 2020; HAFEZ *et al.*, 2021) e o biochar (SAIFULLAH *et al.*, 2018; AKHTAR; ANDERSEN; LIU, 2015), inoculação microbiana (PEREIRA *et al.*, 2016; REDONDO-GÓMEZ *et al.*, 2021), além de manejos culturais, como uso de plantas tolerantes e agrossilvicultura (SAHAB *et al.*, 2021; REDONDO-GÓMEZ *et al.*, 2021).

Benefícios têm sido relatados com o aporte de matéria orgânica. O uso de vermicomposto, por exemplo, resulta em melhora da microestrutura dos agregados, aumento da lixiviação de sais, regulação da comunidade bacteriana e redução do pH (LIU *et al.*, 2020). O aporte de vermicomposto apresenta resultados positivos quando utilizado sozinho; contudo, o uso integrado de vermicomposto e biochar potencializou os resultados positivos na

produtividade das plantas e nas propriedades do solo, aumentando a disponibilidade de N, P, K e a ciclagem de nutrientes, pois o biochar aumentou a quantidade de nutrientes disponíveis, a umidade do solo e aprimorou as propriedades químicas (HAFEZ *et al.*, 2021).

Considerando os efeitos adversos ao cultivo do feijão-caupi em condições salinas, uma estratégia utilizada por Farooq *et al.* (2020) foi o uso de osmoprimum e biochar produzido a partir da madeira de mangueira. Nesse estudo foi observado que o osmocondicionamento com CaCl<sub>2</sub> e aplicação de biochar melhoraram a atividade enzimática da planta, reduziram os danos oxidativos e aumentaram o teor de clorofila, resultando em maior produção da biomassa do feijão-caupi.

### 3.4 BIOCARVÕES

Os estudos de biocarvões remontam ao século XIX, com a possibilidade de melhorar a disponibilidade de nutrientes, mas com a inserção e comercialização de fertilizantes inorgânicos os estudos sobre biocarvão cessaram ainda no século XX. Contudo, estudos notáveis começaram novamente a serem feitos a partir da década de 1980 no Japão, e o interesse por esse assunto sedeu principalmente por pesquisas realizadas no solo antropogênico conhecido como Terra Pretada Amazônica, de ocorrência em algumas localidades na bacia Amazônica (LEHMANN; JOSEFH, 2015).

Biocarvões é o nome dado aos produtos sólido resultante da conversão termoquímica, pirolítica ou hidrotérmica. Pode ter como origem diversas fontes de biomassa e assim, diversos biocarvões. Esses produtos podem ser utilizados para correção do solo, mitigação das alterações climáticas, gestão de resíduos e produção de energia (CHA *et al.*, 2016; LEHMANN; JOSEFH, 2015), possuem propriedade que promovem a retenção de nutrientes (SHEN; YUAN, 2021), remediação de solos contaminados (SUN, YANG *et al.*, 2022) e mitigação de condições salinas no solo (CUI *et al.*, 2022; HE *et al.*, 2020; SAIFULLAH *et al.*, 2018).

O biocarvão possui propriedades físicas específicas que são influenciadas pela matéria prima e os processos de conversão termoquímica. Quando o biocarvão é utilizado no solo - que é um sistema complexo com propriedades físicas distintas - ocorre interação e o biocarvão pode influenciar nas propriedades físicas do solo, como a distribuição de partículas e porosidade (CHA *et al.*, 2016; CHIA; DOWNIE; MUNROE, 2015). Durante a produção do biocarvão, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos podem ser formados e afetar negativamente a aplicação agrícola (BAI *et al.*, 2022; KRZYSZCZAK; DYBOWSKI; CZECH, 2021).

Além das propriedades físicas, a quantidade de nutrientes que o biocarvão terá varia de acordo com a biomassa precursora, tipo e temperatura da conversão termoquímica. A pirolise é um processo de degradação da biomassa em altas temperaturas, a biomassa que passará por esse processo deverá estar seca, com umidade menor que 30%, os produtos resultantes desse processo serão o Pyrochar (fase sólida), bio-óleo (fase líquida) e gases chamados de “não condensáveis”. Dependendo da temperatura, tempo de reação e taxa de aquecimento a pirolise, é dividida em quatro categorias: pirolise rápida, flash, intermediária e lenta (AMALINA *et al.*, 2022)

A carbonização hidrotérmica é outra técnica para a produção de biocarvão. Nesse processo não é necessário pré-secagem, a biomassa pode estar seca ou úmida. O Carvão hidrotérmico pode se assemelhar a outros biocarvões, a semelhança consiste por exemplo em ser rico em C, aplicação como adsorventes e corretivos de solo (KAMBO; DUTTA, 2015; KHOSRAVI *et al.*, 2022).

Embora haja semelhança entre o Pyrochar e o Carvão hidrotérmico, eles possuem diferenças que podem afetar nos efeitos quando aplicados no solo. O Pyrochar possui pH mais alto, estrutura porosa mais rica e maior área de superfície, já o Carvão hidrotérmico possui pH mais baixo e maior teor de nutrientes (SUN, RUIXUE *et al.*, 2022).

O carvão hidrotérmico possui inúmeros benefícios, com baixa salinidade e alta capacidade de retenção de água, que o tornam um composto apropriado para ser utilizado no solo. Contudo, essas propriedades dependem principalmente do processo de produção e da matéria prima (BONA *et al.*, 2022; RÖHRDANZ *et al.*, 2016; ROEHRDANZ *et al.*, 2019)

A atuação do biocarvão em solos degradados se dá através da melhora significativa das propriedades físicas, químicas e biológicas. Promove, dependendo do tipo de biocarvão, a diminuição do pH, aumento da MOS (matéria orgânica do solo), disponibilização de P e N, e modificando as concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  (HE *et al.*, 2020; SUN, *et al.*, 2022).

Os efeitos negativos do estresse salino também são mitigados com a aplicação de biocarvão por meio da disponibilização de nutrientes minerais como Ca, Mg e K na solução do solo, redução de íons de sais disponíveis, redução do estresse osmótico através do aumento da umidade do solo (SHE *et al.*, 2018). Isso acontece devido ao fato do biocarvão promover a lixiviação de sais tóxicos como o  $\text{Na}^+$  e permitir a retenção de sais menos nocivos como o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (XIAO; MENG, 2020).

O biocarvão, no momento de sua aplicação, também pode promover a salinização na superfície do solo devido aos sais de sua composição (LEE *et al.*, 2022). Embora, em um

segundo momento, o biocarvão pode potencializar a lixiviação desses sais durante a irrigação por meio do aumento na movimentação dos íons (XIAO; MENG, 2020).

O uso de biocarvão para correção de solos salinos parece viável, posto que melhora as características do solo e permite o desenvolvimento das plantas. Isso é demonstrado nos trabalhos em que foram observados resultados positivos ao utilizar biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar (AZADI; RAIESI, 2021) e de palha de trigo (CUI *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2020) na mitigação dos efeitos adversos da salinidade. Além disso, em solos irrigados com água salina o biocarvão também foi eficaz em promover bom desenvolvimento das plantas e promover melhoras nas propriedades do solo (SHE *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2021).

Considerando que o estresse salino no solo proporciona efeitos danosos que atingem esferas maiores como as condições climáticas, o biocarvão também apresenta resultados positivos na mitigação desses efeitos, aumentando o estoque de carbono orgânico e diminuindo a emissão de  $N_2O$  sob condições salinas (SINGH; MAVI; CHOUDHARY, 2019, ZHENG *et al.*, 2022).

Pesquisas têm mostrado que a aplicação de biocarvão tem melhorado o rendimento de culturas, com aumento da área foliar devido à redução do estresse salino. Sua aplicação tem sido vista como um manejo com potencial de combater a salinização em terras agrícolas, que estão sob ameaça das mudanças climáticas globais, principalmente em áreas áridas e semiáridas que são susceptíveis à salinidade do solo (CUI *et al.*, 2022; LASHARI *et al.*, 2015; LIN *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2020).

O aumento do rendimento das culturas se deve às melhoras físico-químicas do solo provocadas pelo biocarvão, que possui grande área de superfície específica e quantidades de poros que favorecem essa melhora por meio da diminuição da densidade do solo e aumento do teor de água o que limita a lixiviação de nutrientes e melhora o desenvolvimento das culturas, mesmo em condições áridas (AZEEM *et al.*, 2019).

O uso de biocarvão na correção de solos tem sido amplamente estudado em condições controladas e mostra resultados promissores. Contudo, ainda existe a necessidade de estudos com a aplicação de biocarvão diretamente no campo, em diferentes paisagens com diferentes tipos de solos (ABAGANDURA *et al.*, 2022; IBRAHIM *et al.*, 2020).

Esse potencial de usos do biocarvão em solos salinos, que é uma preocupação crescente, se deve às suas características, pois há possibilidade de proporcionar melhoras nas condições físico-químicas do solo afetados por sais, como densidade, retenção de água e, automaticamente, nutrientes, regulação do pH, e ainda liberar nutrientes, dependendo do seu

material de origem (CUI *et al.*, 2021; HE *et al.*, 2020; SAIFULLAH *et al.*, 2018; SHE *et al.*, 2018; LEHMANN *et al.*, 2021).

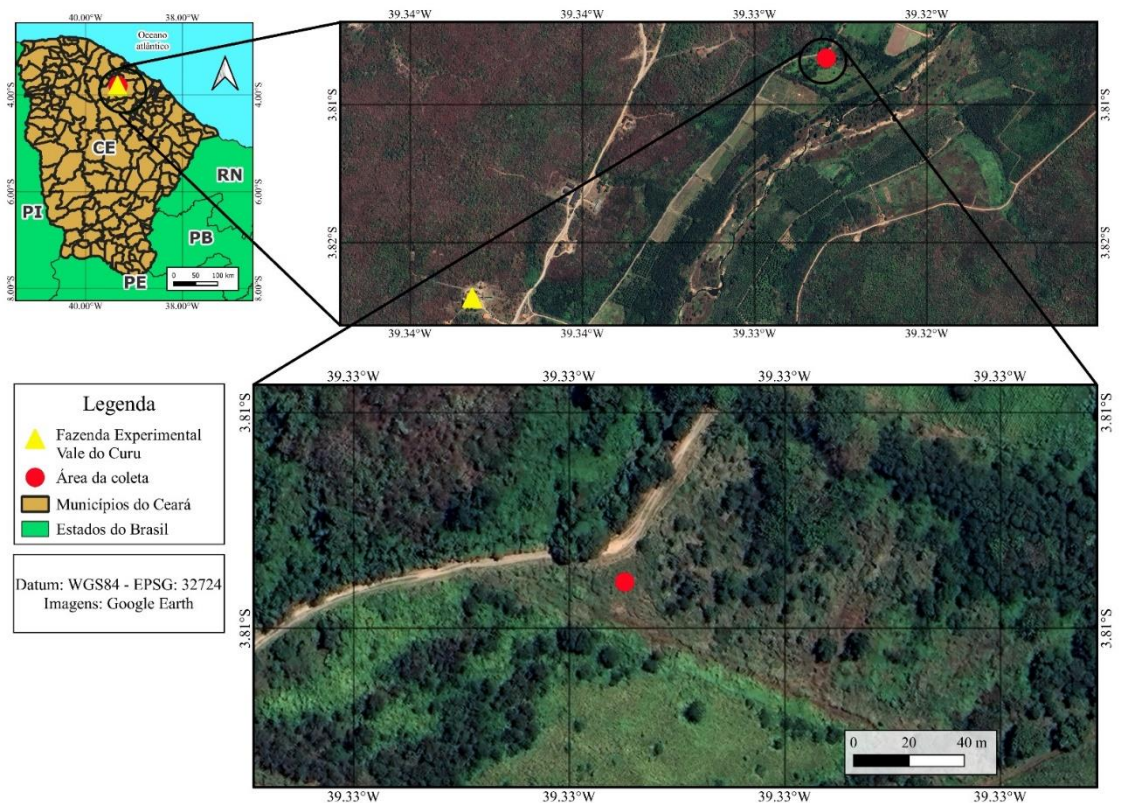
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em fatorial 5 x 2 x 4, sendo utilizado o carvão hidrotérmico em 5 doses (0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup>), 2 diferentes teores salinidade na água e 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. As unidades experimentais foram subdivididas em quatro camadas, totalizando 160 amostras. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA E DO SOLO UTILIZADO NO EXPERIMENTO

O solo utilizado no experimento foi coletado na Fazenda Experimental Vale do Curu Universidade Federal do Ceará, localizada no município de Pentecoste- CE, situada a uma latitude de 3°47' S, longitude 39°16'13'' W a 45 metros de altitude (Figura 01).

**Figura 01** – Localização do município de Pentecoste, no Ceará, e local de coleta do solo.



**Fonte:** esquematização das imagens, autoria própria.

Foram coletadas colunas de solo com estrutura preservada com 0,15 m de diâmetro e 0,40 m de altura utilizando poliuretano, um polímero termofixo obtido por meio da reação de polimerização entre um polioli e isocianato. No processo de coleta, inicialmente a coluna foi esculpida com o auxílio de um molde PVC com as dimensões desejadas, posteriormente foi feita a retirada do molde com as dimensões da coluna e foi colocado outro molde maior, ficando um espaço entre o molde e o solo, este espaço foi preenchido com o poliuretano (Figura 02).

**Figura 02** – Processo de coleta das colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022



**Fonte:** autoria própria.

Após a realização da coleta, as colunas de solo foram transportadas para o Laboratório de Fertilidade do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo utilizado para o experimento possui as características químicas apresentadas tabela 01 e é da classe textural Franco siltosa, conforme as características físicas apresentadas na tabela 02.

**Tabela 01** – Atributos químicos do solo utilizado no experimento

Camada	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	Al + H	T	V	PST
cm		dS/m	.....cmol/kg.....							
0 - 40	6,82	0,43	3,5	3,52	0,26	0,2	0	7,47	100	2,69

**Tabela 02** – Características físicas do solo utilizado no experimento

Areia	Argila	Silte	Classe textural
-------	--------	-------	-----------------



.....g/kg.....			franco siltosa
20,332	39,1	10,568	

### 4.3 OBTENÇÃO DO CARVÃO HIDROTÉRMICO

O carvão hidrotérmico utilizado foi obtido a partir do bagaço de caju. Para a sua produção foi utilizado um reator supercrítico de 10 L, com preenchimento de 80% do seu volume, em uma relação aproximada de 1:6 (m:v) de bagaço para água. O reator foi aquecido aproximadamente a 250°C por 4h e o material sólido resultante separado e seco para uso. A caracterização química do carvão hidrotérmico utilizado está na tabela abaixo (tabela 03).

**Tabela 03-** Caracterização do carvão utilizado no experimento em colunas de solo com estrutura preservada coletado em pentecoste-CE no ano de 2022.  $\pm$  Desvio padrão (n= 3). Digestão do biocarvão pelo modified dry ash (Enders e Lehmann, 2012)

Carvão Hidrotérmico	
	g/kg
<b>P</b>	1,11 ( $\pm$ 0,294)
<b>Na</b>	0,112 ( $\pm$ 0,013)
<b>K</b>	1,496 ( $\pm$ 0,100)
<b>Ca</b>	0,385 ( $\pm$ 0,088)
<b>Mg</b>	0,532 ( $\pm$ 0,093)
<b>Cu</b>	0,028 ( $\pm$ 0,002)
<b>Fe</b>	0,409 ( $\pm$ 0,072)
<b>Mn</b>	0,019 ( $\pm$ 0,001)
<b>Zn</b>	0,031 ( $\pm$ 0,002)
<b>Ba</b>	0,002 ( $\pm$ 0,0002)
<b>Cd</b>	0,000 ( $\pm$ 0,000)
<b>Cr</b>	0,007 ( $\pm$ 0,001)
<b>Mo</b>	0,004 ( $\pm$ 0,0003)
<b>Ni</b>	0,011 ( $\pm$ 0,001)
<b>Pb</b>	0,001 ( $\pm$ 0,0004)
<b>Al</b>	0,647 ( $\pm$ 0,107)
<b>pH</b>	4.98 ( $\pm$ 0,01)
<b>CE mS/cm</b>	346.03 ( $\pm$ 16,79)

<b>Umidade (%)</b>	3,10 (± 0,31)
<b>Material Volátil (%)</b>	81,42 (± 1,12)
<b>Cinzas (%)</b>	2,91 (± 0,21)
<b>Carbono fixo (%)</b>	12,57 (± 1,07)

#### 4.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Ciência do solo-UFC, Fortaleza-CE. A temperatura da casa de vegetação foi regulada atingir a máxima de 28°C.

O solo com e sem adição de carvão hidrotérmico foi incubado, para isso foi feita a remoção da camada 0 - 0,15m de solo de cada coluna, colocado em um recipiente e feita a homogeneização com o biocarvão, simulando a incorporação por gradagem que aconteceria em campo.

As doses de carvão hidrotérmico aplicadas em cada uma das colunas de seus respectivos tratamentos corresponderam a 0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup>, o que correspondeu a 0, 6,52, 13,25, 25,75 e 53,02 g/kg nas unidades experimentais. Após a incorporação, ou seja, a aplicação dos tratamentos, a umidade do solo nas colunas foi elevada até a capacidade de campo e mantida a incubação por 30 dias.

Após o período de incubação, foi feito o plantio do feijão-caupi. Cinco sementes foram semeadas em cada unidade experimental. As sementes foram adquiridas junto ao laboratório de sementes do departamento de Fitotecnia. A cultivar utilizada foi CE-596 setentão da safra de 2019. Nesse período foi feito o desbaste, deixando-se apenas duas plantas de feijão por unidade experimental.

Após a completa germinação, que ocorreu aos 13 dias após o semeio, deu-se início a irrigação com água destilada, sem adição de sais, e água salina, preparada a partir da diluição de cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) e cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O) em água destilada nas proporções 7:2:1. A classificação salinidade da água utilizada para a irrigação foi de acordo com Richards (1954), a C2- Água de salinidade média (CE entre 0,25 e 0,75 dS m<sup>-1</sup> a 25°C), considerando a salinidade da água regional (PALÁCIO *et al.*, 2011; SILVA; ARAÚJO, SOUZA, 2007).

A lâmina de água aplicada diariamente em cada uma das unidades experimentais foi de 101,6 mL, totalizando 3,048 mm<sup>3</sup>, que corresponde à quadra chuvosa dos últimos 30 anos do mês de março registrado na Fazenda experimental onde o solo foi coletado. Os dados

de precipitação pluvial foram fornecidos pela FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos).

Foi realizada a adubação em cobertura, aplicou-se cloreto de potássio e ureia. A determinação da quantidade aplicada foi de acordo com o Manual de fertilização dos solos do Ceará para a cultura do feijão caupi. Foi feita também a adubação foliar com fósforo, para isso foi utilizado o P-51 fosfórico, a quantificação da dose aplicada deu-se a partir das instruções do fabricante.

#### 4.4 ANÁLISES DE SOLO E TECIDO VEGETAL

Durante os 30 dias, a partir da irrigação com água salina (salinidade 1) e água sem sal (salinidade 2), foram coletados dados biométricos (altura, diâmetro do caule e quantidade de folhas) das plantas a cada sete dias.

No final do experimento, 30 dias após a germinação, as plantas foram cortadas rente ao solo, sua massa fresca foi quantificada, foram colocadas em sacos de papel e colocadas na estufa de secagem por 6 dias. Após secas em estufa a massa seca foi quantificada.

Foram feitas análises do tecido vegetal para determinação dos macronutrientes K, P, Ca e Mg, estes foram extraídos através da digestão seca e determinados por espectrofotometria de chama (K), espectrofotometria – amarelo-de-vanadato (P), espectrómetro de absorção atômica (Ca e Mg), conforme prescrito no manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (SILVA, 2009).

As unidades experimentais foram levadas para o laboratório de fertilidade e foram divididas em camadas de 0-0,10m, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40m (Figura 03). Posteriormente as unidades experimentais foram desmontadas e o solo foi colocado para secar ao ar.

**Figura 03** – Divisão da coluna de solo em quatro camadas



**Fonte:** autoria própria.

Após o solo estar seco e destorroado, foram feitas as análises de pH, CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ . O pH foi determinado utilizando um potenciômetro de mesa para pH com eletrodo de vidro. A CE foi aferida com condutivímetro de leitura direta, no líquido filtrado extraído da pasta de saturação feita com o solo. A solução extratora utilizada para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foi acetato de amônio. As concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram determinadas por meio de espectrofotometria de chama. O  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram quantificados através do espectrômetro de absorção atômica – Chama. O  $\text{Al}^{3+}$  foi extraído utilizando a solução extratora  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e a determinação volumétrica com solução diluída de  $\text{NaOH}$ .

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 pH DO SOLO

O pH do solo em função da salinidade foi menor quando regado com água salina (6,34) e, quando regado com água sem sais, a média foi de 6,52. Em comparação com o solo inicial, que foi 6,82, houve uma redução, porém em função das camadas (tabela 05) o pH foi aumentando em ordem crescente da camada 1 para a camada 4, sendo que o valor da camada 4 se assemelha ao solo inicial.

**Tabela 04-** Médias de pH do solo em função de camadas com irrigação com água salina e sem sais.

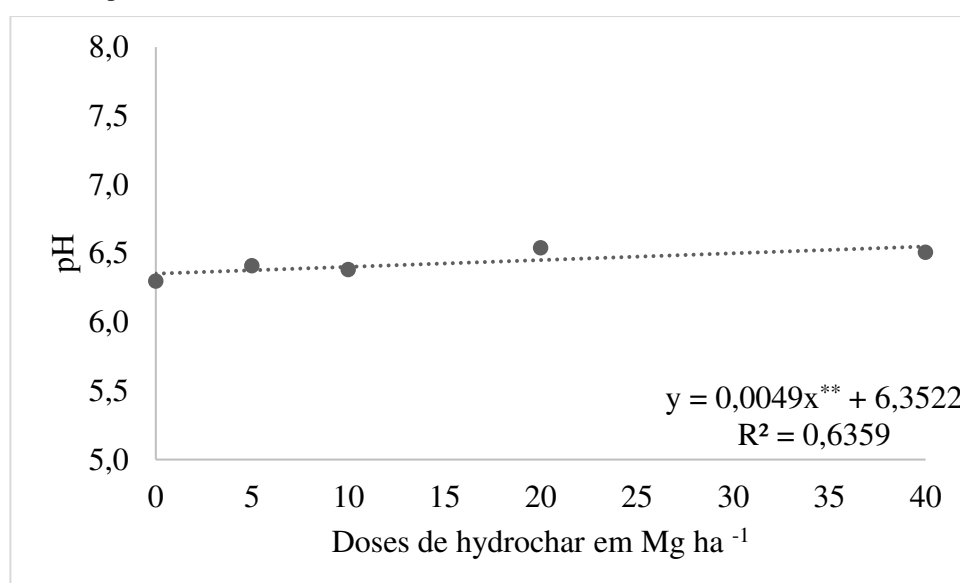
Camadas	pH
1	6,01 d
2	6,30 c

<b>3</b>	6,57 b
<b>4</b>	6,83 a

Fonte: Próprio autor.

Na figura 04 abaixo, o gráfico de regressão polinomial linear, mostra que resultado das médias foram significativas em função das doses de carvão hidrotérmico, ao observar o gráfico, no contexto estudado, houve aumento de pH e a média mais alta observada foi na dose de 20Mg ha<sup>-1</sup>(Figura 05).

**Figura 04-** pH do solo em função de doses de carvão hidrotérmico em colunas de solo com estrutura preservada coletadas em Pentecoste-CE no ano de 2022



\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

Fonte: Próprio autor.

Houve interação significativa entre doses e camadas em relação ao pH do solo (tabela 05). Na camada 4 não houve diferença estatísticas entre as doses, mas ocorreu diferença entre as camadas. As médias mais altas observadas foram nas camadas 3 e 4. Além disso, observa-se que na camada 1, dose 0 Mg ha<sup>-1</sup> foi a média mais baixa.

**Tabela 05-** pH do solo em função de camadas e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

Camadas	Doses de carvão hidrotérmico em Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	5	10	20	40
<b>1</b>	4,87 b	6,11 b	5,87 c	6,15 c	6,06 b
<b>2</b>	6,11 b	6,37 b	6,30 b	6,45 b	6,26 b
<b>3</b>	6,64 a	6,33 b	6,44 b	6,62 b	6,79 a
<b>4</b>	6,58 a	6,83 a	6,91 a	6,93 a	6,92 a

Fonte: Próprio autor.

Como os valores de pH solo em média foram acima de 6, quando o hidrogênio e o alumínio foram quantificados os resultados corresponderam a zero, isso se deve ao Al trocável do solo depender, dentre outros fatores, do pH e este deve apresentar valores menores que 5,5 para que o Al possa ser quantificado (MELLO; PEREZ, 2019).

O pH é uma propriedade do solo que indica a saúde do solo, pois controla as propriedades físicas, biológicas e químicas. A variação do pH pode ocorrer em função do clima, vegetação, intemperismo e material de origem. O pH influenciará na disponibilidade dos nutrientes, estabilidade dos agregados e na atividade microbiana, favorecendo ou não os processos de decomposição da matéria orgânica. Todos esses fatores interferem diretamente no desenvolvimento das plantas e por isso, o pH afeta diretamente na produção agrícola (LANDSCAPE *et al.*, 2024; FAGERIA; ARAUJO; STONE, 2019).

As médias do pH do solo estavam na faixa considerada ótima para a disponibilidade de nutrientes (MELLO, PEREZ, 2019). No entanto, notou-se que na camada 1, na dose 0 Mg ha<sup>-1</sup> o pH não estava nessa faixa considerada ótima, o valor foi abaixo das outras médias. A partir desses resultados, observa-se que o carvão hidrotérmico com pH de 4,98 não diminuiu o pH do solo, uma vez que as unidades experimentais que receberam as doses do carvão hidrotérmico os valores de pH foram superiores aos que não receberam o tratamento com o carvão hidrotérmico.

Quando o solo foi regado com água salina houve uma diminuição do pH quando comparado com a rega de água sem sais, isso mostra que o carvão hidrotérmico foi eficiente em não possibilitar o aumento de pH, característico de solos salinos. Na camada 1 onde o carvão hidrotérmico estava em maior proporção o pH foi mais baixo, quando comparado com a camada 4. Isso ocorreu possivelmente devido o carvão hidrotérmico ter retido o Na, evitando o aumento do pH na zona radicular mais próxima da planta, e proporcionou a lixiviação dos cátions básicos, como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>, aumentando o pH nas camadas subsequentes.

Resultados semelhantes foram observados nos estudos de Rillig *et al.* (2010) e Schimmelpfennig *et al.* (2014), que observaram o aumento do pH mesmo quando submetido ao Carvão hidrotérmico com pH mais ácido, de acordo com os autores, no entanto, o aumento do pH deu-se devido a interação do Carvão hidrotérmico com a comunidade microbiana. Ainda no experimento de Schimmelpfennig *et al.* (2014), diferente do observado, o aumento de pH foi maior na camada superior, onde o Carvão hidrotérmico estava em maior concentração.

Essas diferenças observadas entre os trabalhos com o carvão hidrotérmico, em parte, devem-se a diversidade de biomassas que podem ser utilizadas para a produção do

biocarvão, ao processo de produção e o solo no qual o carvão hidrotérmico será inserido. Pois esses fatores interferem características do carvão hidrotérmico e como ocorrerá a interação com o solo.

## 5.2 CTC DO SOLO

A Capacidade de Troca Catiônica do solo em função das camadas foi significativa (tabela 06). Observa-se que a camada 1 diferiu estatisticamente da camada 3, e a CTC mais alta no contexto estudado foi na camada 1.

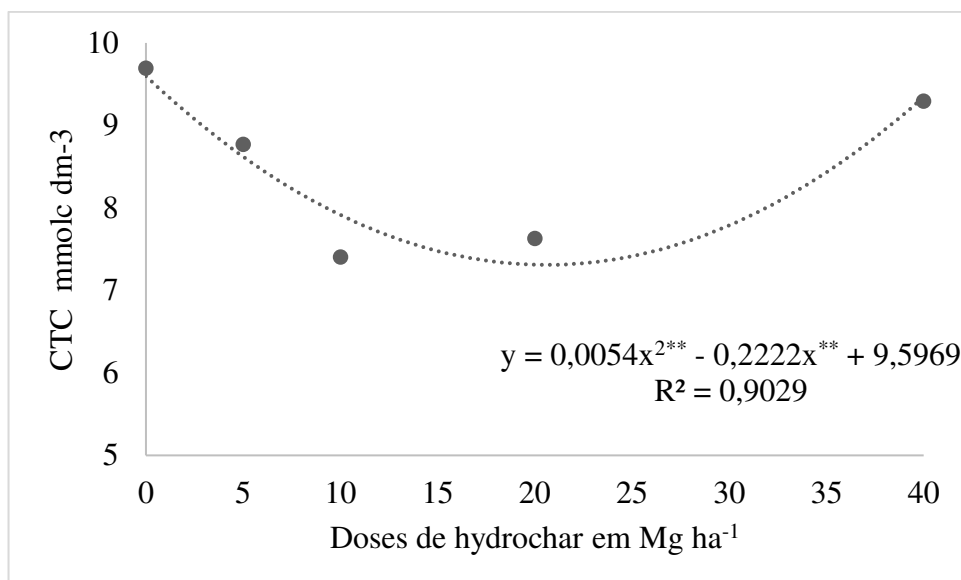
**Tabela 06-** CTC do solo em função de camadas submetido a doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

<b>Camadas</b>	<b>Médias</b> ..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> .....
<b>1</b>	8,87 a
<b>2</b>	8,57 ab
<b>3</b>	8,06 b
<b>4</b>	8,73 ab

Fonte: Próprio autor.

A CTC do solo também foi significativa em função das doses de carvão hidrotérmico, como é possível observar na figura 06, onde foi aplicada uma linha de tendência de regressão quadrática. Observa-se que, no contexto estudado, a CTC diminui nas doses 5, 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>, mas aumenta na dose 40 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Figura 05-** CTC do solo em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022



\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

Fonte: Próprio autor.

CTC em função da interação salinidade e doses de carvão hidrotérmico foi significativa. Não houve diferença significativa entre as doses 0 e 5 Mg ha<sup>-1</sup>. Na salinidade 2 dose 40 Mg ha<sup>-1</sup> foi a que diferiu das demais doses.

**Tabela 07-** CTC do solo em função de salinidade e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

Salinidade	Doses Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	5	10	20	40
	..... cmol.kg <sup>-1</sup> .....				
<b>1</b>	9,60 a	9,15 a	6,39 b	6,91 b	10,47 a
<b>2</b>	9,78 a	8,38 a	8,42 a	8,35 a	8,12 b

Fonte: Próprio autor.

Quanto a interação da salinidade, camadas e doses há também diferenças estatísticas (tabela 08). Nas doses 0 e 5 Mg ha<sup>-1</sup> não houve diferenças estatísticas entre as salinidades, camadas e tratamento. No tratamento de 10 Mg ha<sup>-1</sup>, S1C3 apresentou o menor valor e diferiu estatisticamente da S2C1. O tratamento 20 Mg ha<sup>-1</sup> a S1C3 também apresentou o valor mais baixo e diferiu estatisticamente da S2C1, S2C2 e S2C4. Já o tratamento 40 Mg ha<sup>-1</sup> apresentou os maiores valores, principalmente na salinidade 01, a S2C3 se destacou sendo o menor valor, e diferiu estatisticamente da S1C1 e S1C2.

**Tabela 08-** CTC do solo em função de salinidade, camadas e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada. S1= Água adicionada de sais; S2= Água sem adição de sais; C=camada. coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022



Salinidade x Camada	Doses Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	5	10	20	40
	..... cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....				
<b>S1C1</b>	10,24 a	9,72 a	6,70 ab	7,36 ab	10,38 ab
<b>S1C2</b>	9,85 a	8,94 a	6,40 ab	6,92 ab	10,66 ab
<b>S1C3</b>	9,28 a	8,88 a	5,99 b	5,38 b	9,82 abc
<b>S1C4</b>	9,03 a	9,08 a	6,48 ab	7,99 ab	11,03 abc
<b>S2C1</b>	10,02 a	8,55 a	8,74 a	8,55 a	8,41 abc
<b>S2C2</b>	9,42 a	8,37 a	8,39 ab	8,70 a	8,10 bc
<b>S2C3</b>	9,80 a	8,03 a	8,16 ab	7,50 ab	7,72 c
<b>S2C4</b>	9,89 a	8,59 a	8,39 ab	8,65 a	8,23 bc

Fonte: Próprio autor.

A maior média de CTC foi na camada 1 e a maior CTC foi na dose 0 Mg ha<sup>-1</sup> e 40 Mg ha<sup>-1</sup>. A CTC mais baixa foi no solo irrigado com sal nas doses 10 Mg ha<sup>-1</sup> e 20 Mg ha<sup>-1</sup>, isso se deve possivelmente a capacidade do Carvão hidrotérmico immobilizar ou lixiviando as bases presentes na irrigação, pois quando foi relacionada salinidade, camada e doses, a camada 3, na salinidade 1, nas doses 10 Mg ha<sup>-1</sup> e 20 Mg ha<sup>-1</sup> foram as menores médias da CTC. Além disso, a redução da CTC nas doses 10 Mg ha<sup>-1</sup> e 20 Mg ha<sup>-1</sup> também pode ser justificada pela absorção de nutrientes pela planta presente da unidade experimental.

A CTC do solo aumentou quando comparada com os valores da CTC testemunha, sendo as maiores médias na camada 1 (camada onde tinha maior quantidade de carvão hidrotérmico) e quando submetido a maior dose de carvão hidrotérmico. Desse modo, pode-se afirmar que o carvão hidrotérmico influenciou no aumento da CTC, devido suas propriedades químicas, como uma alta concentração de grupos funcionais de oxigênio que podem aumentar sua CTC, a capacidade de retenção de nutrientes e de água (SUAREZ *et al.*, 2023).

O Carvão hidrotérmico foi favorável na melhoria das características químicas do solo mesmo quando sob estresse salino. O carvão hidrotérmico tem capacidade de aumentar a CTC do solo devido suas altas áreas superficiais e aos grupos funcionais de superfície, além disso é fortemente influenciado pelo pH do solo e matéria orgânica (ABABSA; BOUDJABI; CHENCHOUNI, 2023; REN *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2024; KHOSRAVI *et al.*, 2022).

Apesar do Carvão hidrotérmico de bagaço de caju propiciar melhorias nas características químicas do solo, essas propriedades do carvão hidrotérmico- vai pender muito da matéria prima e do processo de produção. Como destaca María; Lidón e Fornes, (2016) ao comparar os efeitos de diferentes tipos de biocarvão e constatar que não ocorreu benefícios ao solo.

### 5.3 CÁLCIO NO SOLO

Nos dados de caracterização química do solo, o Ca apresenta uma concentração média de  $3,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , concentração inferior as que foram encontradas após o experimento. As médias de Cálcio no solo em função da salinidade foram de  $4,03 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  irrigado com água salina e  $4,88 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  com água sem sais. A maior média foi quando irrigado com água sem sais.

O Cálcio em função das camadas também foi significativo, observa-se que a média na camada 1 diferiu estatisticamente da camada 3, as camadas 2 e 4 mantiveram-se semelhantes a 1 e 3 (Tabela 09). Essa diferença entre as concentrações de Ca no solo ocorreu como efeito da adição do carvão hidrotérmico, o aumento foi expresso por conta das propriedades básicas e das concentrações preexistentes no material, uma vez que, o próprio carvão hidrotérmico já possuía uma concentração de cálcio maior que o solo. Em relação ao balanço de Ca entre as camadas que permaneceu sem diferença estatística, permite inferir que o carvão hidrotérmico também pode atuar como estabilizador na disponibilização de nutrientes em profundidade, sendo essa característica expressa pelo efeito lixiviação ou pela disponibilização de elementos pelo próprio condicionador (JAJARMI, 2023).

**Tabela 09-** Cálcio do solo em função de camadas testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

<b>Camadas</b>	<b>Médias Ca</b>
	..... $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .....
<b>1</b>	4,79 a
<b>2</b>	4,66 ab
<b>3</b>	4,39 b
<b>4</b>	4,72 ab

Fonte: Próprio autor.

Não houve diferença estatística entre as médias de Ca em função das doses de carvão hidrotérmico. Já em função da interação das médias de salinidade e tratamento, houve diferenças estatísticas (tabela 10). Observa-se que na salinidade 1 as doses que diferiram entre si foram as 0, 5, 10 com as de 20 e  $40 \text{ Mg ha}^{-1}$ , já na salinidade 2, a única que diferiu das demais foi a de  $40 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Quando comparado os tratamentos com a salinidade em cada uma das doses, nota-se que o tratamento de  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$  foi o único que não diferiu em

estatisticamente com a salinidades. Ainda de acordo com a tabela 7, a média da dose 40 Mg ha<sup>-1</sup> na salinidade 01 foi mais alta e a mais baixa na salinidade 2.

**Tabela 10-** Médias de Cálcio do solo em função da salinidade e das doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

Salinidade	Doses de carvão hidrotérmico Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	5	10	20	40
	.....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....				
1	4,54 b	4,47 b	3,17 b	4,21 a	5,63 a
2	5,56 a	5,15 a	4,86 a	4,53 a	4,31 b

Fonte: Próprio autor.

A média de Ca foi maior quando não irrigada com solução salina. Quando correlacionada com as doses de carvão hidrotérmico, a de 40 Mg ha<sup>-1</sup> foi a menor média. Quando irrigado com solução salina as maiores médias foram nas doses mais altas. Desse modo, pode-se afirmar que quando o solo foi irrigado com solução salina ocorreu uma maior concentração desse sal nas doses 20 Mg ha<sup>-1</sup> e 40 Mg ha<sup>-1</sup>, possivelmente devido a disponibilização, pois as maiores quantidades de Ca foram encontradas nas primeiras camadas.

Nota-se que as concentrações de Ca no solo em relação a dose e a salinidade, apresentam as maiores quantidades nos tratamentos com solução salina. Nas doses 0, 5 e 10 Mg ha<sup>-1</sup> de carvão hidrotérmico na presença de solução salina, é possível observar uma redução na disponibilização de Ca no solo, o mesmo não ocorreu nas doses sem a presença de sais, porém, mesmo apresentando diferenças estatísticas entre as concentrações comparadas a salinidade e dose, observa-se que as médias encontradas são semelhantes, de modo geral, o biocarvão em relação a salinidade e dose, só expressou efeito redutor nas doses 5, 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>, assim como foi verificável no experimento de Bento (2019).

#### 5.4 MAGNÉSIO NO SOLO

O Magnésio também apresentou diferenças nas médias em função da salinidade, quando irrigado com água salina a média foi de 3,565 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e com água sem sais a média foi 3,155 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Houve diferença estatística nas médias salinidade na interação com as doses do tratamento (Tabela 11). No tratamento com 10 Mg ha<sup>-1</sup> foi o único que não houve diferenças estatística nas duas salinidades. Na salinidade 1 o tratamento de 20 Mg ha<sup>-1</sup> foi a única dose que diferiu, sendo a média mais baixa, já na salinidade 2 as doses 0, 5 e 40 Mg ha

<sup>-1</sup> diferiu das médias das doses 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>. A menor média foi na dose 5 Mg ha<sup>-1</sup> a maior média foi na dose 0 Mg ha<sup>-1</sup>.

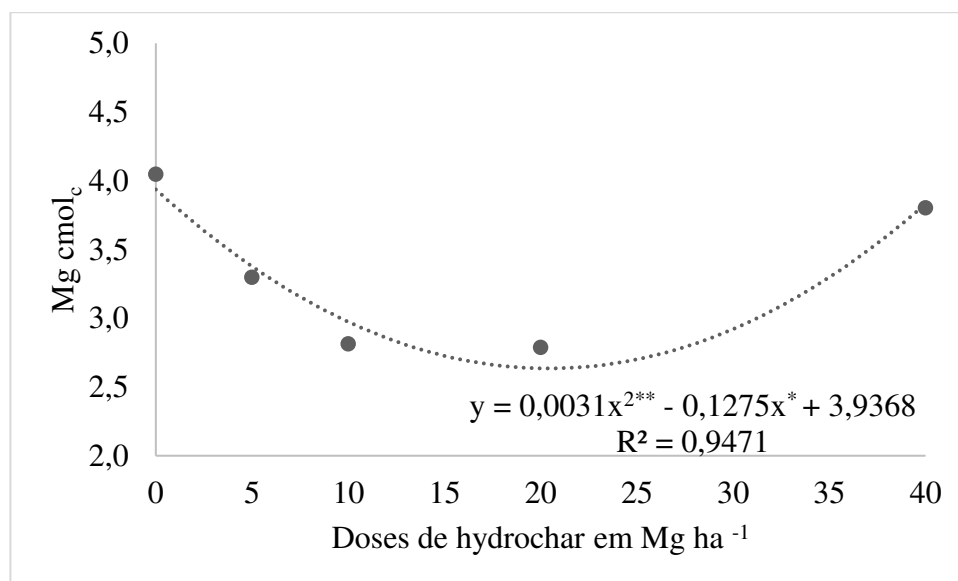
**Tabela 11-** Magnésio do solo em função da salinidade e das doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

Salinidade	Doses de carvão hidrotérmico Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	5	10	20	40
	.....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....				
<b>1</b>	4,45 a	4,12 a	2,72 a	2,22 b	4,27 a
<b>2</b>	3,64 b	2,48 b	2,91 a	3,36 a	3,34 b

Fonte: Próprio autor.

Os resultados das médias de Mg em função das doses de carvão hidrotérmico também foram significativas (Figura 07), observa-se que, no contexto estudado, as médias mais altas foram nas doses de 0 e 40 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Figura 06-** Magnésio do solo em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022



\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

Fonte: Próprio autor.

Quando comparadas as médias de Mg em função da interação entre salinidade, camadas e doses, houve também diferenças estatísticas (Tabela 12). As doses que tiveram diferenças estatísticas foram a de 5 e 10 Mg ha<sup>-1</sup> as outras não houve diferença. As menores médias de Mg foram observadas no tratamento com 5 Mg ha<sup>-1</sup> na salinidade 2, ou seja, quando

regado com solução sem sais. Médias baixas também foram observadas no tratamento com 20 Mg ha<sup>-1</sup> na salinidade 1, sendo a média mais baixa na S1C3 (salinidade 1, camada 3).

**Tabela 12-** Magnésio do solo função da correlação entre salinidade, camadas e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022 S=salinidade; C=camada

Salinidade x Camada	Doses de carvão hidrotérmico Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	5	10	20	40
	..... cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....				
<b>S1C1</b>	4,76 a	4,37 a	2,87 a	2,42 ab	4,23 a
<b>S1C2</b>	4,58 a	3,99 ab	2,76 a	2,09 ab	4,41 a
<b>S1C3</b>	4,26 a	3,96 abc	2,50 a	1,55 b	4,02 a
<b>S1C4</b>	4,20 a	4,15 a	2,75 a	2,81 ab	4,43 a
<b>S2C1</b>	3,97 a	2,50 bcd	2,90 a	3,46 a	3,52 a
<b>S2C2</b>	3,39 a	2,48 cd	2,80 a	3,51 a	3,43 a
<b>S2C3</b>	3,60 a	2,39 d	2,81 a	3,01 ab	3,04 a
<b>S2C4</b>	3,62 a	2,55 bcd	3,14 a	3,46 a	3,36 a

Fonte: Próprio autor.

A quantidade de magnésio no solo em função da salinidade foi em média 3,55 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> quando regado com água salina e 3,15 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> quando regado sem sais. A média quando regado com água salina foi superior à quantidade de Mg apresentado no solo antes do experimento, 3,53 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Esse aumento se deu possivelmente porque dentre os sais adicionado na água salina, estava o cloreto de magnésio.

Os maiores valores de Mg em função da interação entre doses e salinidades foram os da camada 1 na dose de 0 Mg ha<sup>-1</sup>, apesar de não haver diferença estatística entre as camadas, que receberam o tratamento de 0 Mg ha<sup>-1</sup>. Há estudos que mostram que, dependendo do tipo de solo, matéria prima e processo de produção do biocarvão, a ação do Carvão hidrotérmico pode ocasionar a retenção dos nutrientes, a lixiviação ou ainda uma lenta liberação dos nutrientes (MUKHERJEE; ZIMMERMAN, 2013; RAIMUNDO *et al.*, 2019; KHOSRAVI *et al.*, 2024), que foi o que possivelmente ocorreu no presente estudo.

## 5.5 SÓDIO NO SOLO

O sódio foi significativo em função da salinidade, quando irrigado com solução salina a média foi 0,25 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e solução sem sais foi de 0,28 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. O Na também foi significativo em função das camadas, teve sua maior concentração na camada 1 (0- 10 cm da coluna) e esta diferiu estatisticamente da camada (20-30 cm da coluna) (Tabela 13).

**Tabela 13-** Sódio do solo em função das camadas, submetido a doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

<b>Camadas</b>	<b>Médias</b>
	..... cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....
<b>1</b>	0,30 a
<b>2</b>	0,26 ab
<b>3</b>	0,25 b
<b>4</b>	0,27 ab

Fonte: Próprio autor.

O Na em função da interação da salinidade com as camadas (tabela 14) foi significativo, observou-se que na salinidade 1 a concentração de Na ocorreu em maior média na camada 1, já na salinidade 2 a maior média foi na camada 4.

**Tabela 14-** Sódio do solo em função da salinidade correlacionada com camadas, submetido a doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022. Letras maiúsculas - Colunas; Letras minúsculas - Linhas

<b>Salinidade</b>	<b>Camadas</b>			
	..... cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....			
	1	2	3	4
<b>1</b>	0,34 aA	0,24 aB	0,20 bB	0,23 bB
<b>2</b>	0,26 bA	0,27 aA	0,29 aA	0,30 aA

Fonte: Próprio autor.

Em relação a salinidade 2 é compreensível o sódio apresentar maior concentração na camada 4, uma vez que pode ter ocorrido a lixiviação para a camada mais inferior. Em relação a solução salina 1, o que se observa é que apesar de sua concentração ser mais elevada na camada 1, não se observou efeitos de toxicidade para as plantas.

Na interação salinidade e tratamento (Tabela 15) os resultados foram significativos, observa-se que na salinidade 1 os tratamentos 0, 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup> diferiram estatisticamente dos tratamentos 5 e 10 Mg ha<sup>-1</sup>. Já na salinidade 2, o único tratamento que diferiu dos demais o 40 Mg ha<sup>-1</sup>. Ao comparar as duas salinidades, nota-se que as médias que não diferem entre se são as dos tratamentos 0 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 15-** Sódio do solo em função da salinidade e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

<b>Salinidade</b>	<b>Doses Mg ha<sup>-1</sup></b>			
	0	5	10	20
	..... cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....			

1	0,32 a	0,28 b	0,19 b	0,20 a	0,27 a
2	0,27 a	0,43 a	0,34 a	0,18 a	0,18 b

Fonte: Próprio autor.

Na interação salinidade, camadas e tratamento, os resultados foram significativos (Tabela 16). No tratamento com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de carvão hidrotérmico, observou-se a S1C1(salinidade 1, camada 1) diferiu estatisticamente da S2C1, uma maior que a outra, respectivamente. No tratamento 5 Mg ha<sup>-1</sup>, houve maior variabilidade nas médias, a maior média foi na S2C4 e a menor foi na S1C3. Na dose 10 Mg ha<sup>-1</sup> na salinidade 2 não ocorreu diferença estatística nas camadas, sendo as médias superiores as da salinidade 1. Na dose 20 Mg ha<sup>-1</sup> também não houve diferenças estatísticas na salinidade 2, e a maior média foi na S1C1 (salinidade 1, camada 1). Por fim, no tratamento de 40 Mg ha<sup>-1</sup> a S1C1 diferiu estatisticamente da S2C1(salinidade 2, camada 1). e S2C2 (salinidade 2, camada 2), as outras médias foram semelhantes entre si.

**Tabela 16-** Sódio do solo em função da salinidade, camadas e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022 S=salinidade; C=camada.

Salinidade x camada	Doses Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	5	10	20	40
	..... cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....				
<b>S1C1</b>	0,41 a	0,36 abcd	0,30 ab	0,30 a	0,33 a
<b>S1C2</b>	0,29 ab	0,27 bcd	0,19 ab	0,21 ab	0,25 ab
<b>S1C3</b>	0,28 ab	0,24 d	0,15 b	0,12 b	0,21 ab
<b>S1C4</b>	0,31 ab	0,25 cd	0,14 b	0,18 ab	0,27 ab
<b>S2C1</b>	0,19 b	0,44 ab	0,35 a	0,16 ab	0,14 b
<b>S2C2</b>	0,25 ab	0,42 abc	0,34a	0,19 ab	0,15 b
<b>S2C3</b>	0,31 ab	0,41 abcd	0,35 a	0,18 ab	0,22 ab
<b>S2C4</b>	0,32 Ab	0,46 a	0,32 a	0,20 ab	0,20 ab

Fonte: Próprio autor.

Ao comparar a quantidade de sódio no solo antes do experimento (0,2 cmol<sub>c</sub> Kg<sup>-1</sup>) com a quantidade de Na no solo após os tratamentos, é possível observar que ocorreu aumento, principalmente nas amostras que receberam solução salina. Porém, é possível observar que ocorreu redução em comparação com a salinidade 2, nas doses de 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup>.

O excesso de sódio no solo pode provocar estresse oxidativo, osmótico e desequilíbrio iônico, afetando diretamente as plantas, tanto no crescimento como na produtividade (SUN *et al.*, 2022). Isso foi observado nas plantas que foram cultivadas nas repetições que receberam a rega com solução salina e 0 Mg ha<sup>-1</sup> de carvão hidrotérmico (que apresentou o maior índice de sódio), as plantas foram visivelmente afetadas tanto no

crescimento como na produtividade, diferente das demais plantas. A partir disso, pode-se afirmar que mesmo quando o solo regado com solução salina e submetido a doses de hidrochar, pode haver boa produtividade.

O valor do sódio foi mais alto na salinidade 1, camada 2. Quando correlacionadas salinidade e camadas não houve diferenças na camada 1, mas na salinidade 2 a média da camada 1 foi menor que as outras camadas. Pode ter ocorrido a lixiviação do Na já presente no solo.

Já em relação às doses e salinidade, na dose 0 não houve diferença entre as salinidades. Quando irrigado com sais as maiores médias foram nas doses 0, 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup>. Quando irrigado sem sais a menor média foi a de dose 40 Mg ha<sup>-1</sup>. Desse modo, quando o solo é irrigado com solução salina e tratado com carvão hidrotérmico as doses que mais surtiram efeito, para redução de sódio, foram as doses 5 e 10, já que nas outras doses houve aumento. Quando não irrigado com sais, a dose mais eficaz é a 40 Mg ha<sup>-1</sup>, pois foi onde teve média menor.

Essa variação dos valores na quantidade de sódio pode estar relacionada a relação solo-plantas, em conjunto com as características química e biológicas do solo e às propriedades do carvão hidrotérmico tem uma de suas características é alta porosidade, que permite a retenção do Na em sua estrutura, e não disponibilização de determinados cátions ou íons na solução do solo (BAYTAR, 2023).

## 5.6 POTÁSSIO NO SOLO

Quanto ao potássio em função das camadas (Tabela 17) foi significativo, sua menor concentração foi na camada 1, esta diferiu estatisticamente da camada 2, que apresentou a maior média.

**Tabela 17-** Potássio do solo em função de camadas submetido a doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

Camadas	Médias K ..... cmolc kg <sup>-1</sup> .....
1	0,27 b
2	0,31 a
3	0,30 ab
4	0,30 ab

Fonte: Próprio autor.



O potássio aumentou no solo quando comparado com o solo do experimento. E sendo um elemento móvel no solo (XIONG, 2021), houve aumento nas camadas quando comparado com a camada 1.

Sua disponibilidade aumenta em função do aumento do pH, o que ocorreu no experimento, porém, pode ter sido inibido pelos cátions Ca e Mg, uma vez que competem pelos mesmos sítios ativos de ligação (DUARTE, 2019). O potássio pode facilmente ser lixiviado para as camadas seguintes, sendo verificado apenas considerando as concentrações em ordem crescente nas camadas apresentadas (BENTO, 2019).

### 5.7 PST DO SOLO

A PST (percentagem de saturação de sódio trocável) do solo em função da salinidade foi significativa, correspondendo a 3,00 % quando irrigado com água salina e 3,31% quando irrigado com água sem sais. Houve diferença estatística da PST em função da interação entre salinidade e camada (Tabela 18). Observa-se que na salinidade 1 as camadas 1 e 2 diferiram estatisticamente das outras duas camadas, possuindo valores mais altos. Na salinidade 2, a única camada que diferiu foi a 1, com a PST mais baixa. Entre as camadas, a única que não diferiu estatisticamente em relação a salinidade foi a camada 1.

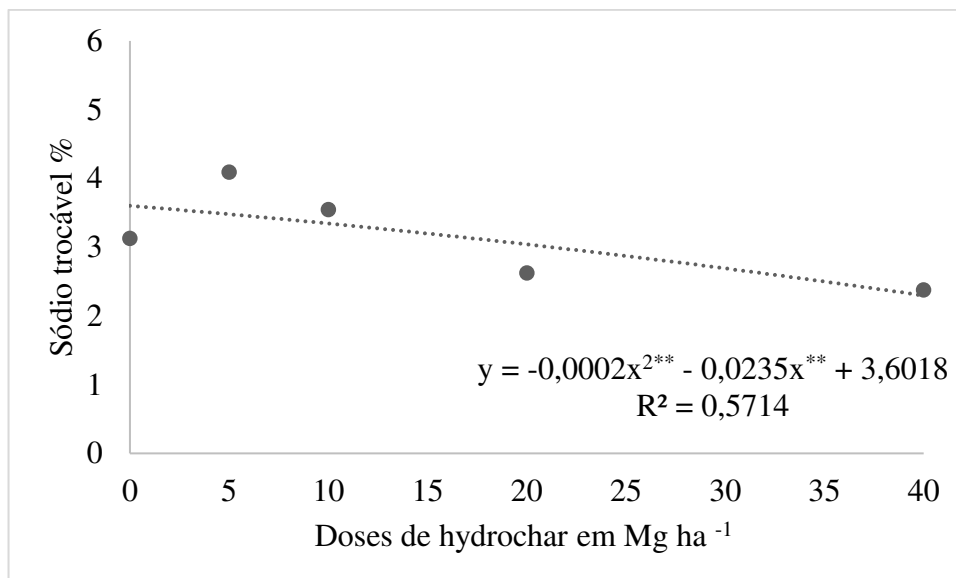
**Tabela 18-** PST do solo em função de camadas testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022. Letras maiúsculas: Linhas; Letras minúsculas: Colunas

Salinidade	Camadas			
	1	2	3	4
	..... %.....			
<b>1</b>	3,96 aA	2,89 aB	2,54 bB	2,61 bB
<b>2</b>	2,95 bA	3,21 aA	3,59 aA	3,47 aA

Fonte: Próprio autor.

Na análise de PST em função das doses (Figura 09), a dose que teve menor porcentagem foi a de 40 Mg ha<sup>-1</sup>, e de 20 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já as doses 5 e 10 Mg ha<sup>-1</sup> promoveram um aumento quando comparadas com a dose 0 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Figura 07** - PST do solo em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022



\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

Fonte: Próprio autor.

A PST em função da interação da salinidade e doses de carvão hidrotérmico também foi significativa (Tabela 19). Nota-se que, no contexto estudado, nas doses 0 e 40 Mg ha<sup>-1</sup> não houve diferenças estatísticas. Nas doses 5 e 10 Mg ha<sup>-1</sup>, a PST foi mais alta na salinidade 2, diferentemente da dose 20 Mg ha<sup>-1</sup>, que foi na salinidade 1.

**Tabela 19-** PST do solo em função de salinidade e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

Salinidade	Doses Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	5	10	20	40
	..... %.....				
<b>1</b>	3,38 a	3,06 b	3,00 b	3,02a	2,53 a
<b>2</b>	2,87 a	5,12 a	4,09 a	2,23 b	2,23 a

Fonte: Próprio autor.

Na interação salinidade, camadas e doses de hydrocar a PST também foi significativa (Tabela 20). Observa-se que nas doses 0 e 40 Mg ha<sup>-1</sup> não houve diferença estatísticas, diferentemente das outras doses que variaram entre se.

**Tabela 20-** PST do solo em função de salinidade, camadas e doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

Salinidade x camada	Doses Mg ha <sup>-1</sup>				
	0	5	10	20	40
	..... %.....				

<b>S1C1</b>	4,04 a	3,68 abc	4,52 a	4,37 a	3,18 a
<b>S1C2</b>	2,99 a	3,03 bc	2,97 ab	3,12 ab	2,32 a
<b>S1C3</b>	3,01 a	2,76 c	2,47 ab	2,29 ab	2,16 a
<b>S1C4</b>	3,49 a	2,77 c	2,04 b	2,30 ab	2,46 a
<b>S1C1</b>	1,98 a	5,15 a	4,02 ab	1,94 b	1,67 a
<b>S2C2</b>	2,75 a	5,00 ab	4,16 a	2,20 b	1,92 a
<b>S2C3</b>	3,41 a	4,98 ab	4,26 a	2,41 ab	2,92 a
<b>S2C4</b>	3,35 a	5,34 a	3,92 ab	2,36 ab	2,40 a

Fonte: Próprio autor.

A maior Percentagem de Sódio Trocável foi na salinidade 2. Quando relacionada salinidade e camada, a salinidade 2 da camada 1 foi a menor média, já na salinidade 1 as menores médias foram nas camadas 3 e 4. Possivelmente ocorreu a lixiviação do sódio em ambos os casos. Em função das doses, no contexto estudado, a PST foi menor nas doses 20 Mg ha<sup>-1</sup> e 40 Mg ha<sup>-1</sup>. Quando relacionadas a salinidade e doses, na salinidade 1 as menores médias foram nas doses 5 Mg ha<sup>-1</sup> e 10 Mg ha<sup>-1</sup>. Na salinidade 2 a menor média foi na dose 20 Mg ha<sup>-1</sup>. Em função das variáveis salinidade, camadas e doses, a S1C1 na dose 40 Mg ha<sup>-1</sup> foi menor média.

Ao comparar com os resultados da PST após o experimento com os dados do solo antes dos tratamentos, observa-se que a média a PST aumentou tanto nos tratamentos com rega de água salina como sem sais. Porém, nas doses de 0 Mg ha<sup>-1</sup>, 20 Mg ha<sup>-1</sup> e 40 Mg ha<sup>-1</sup> houve redução da PST na camada 1 quando regados sem sais, já as outras doses aumentaram a PST.

De acordo com os resultados, mesmo o solo sendo regado com solução salina contendo sódio, o solo não ficou salino sódico (saturação  $\geq 15\%$ ) ou solódico (saturação por sódio de 6% a  $<15\%$ ), de acordo com a Santos *et al.*, (2018). Estudos tem mostrado a eficácia do uso de biocarvões em solos salinos, atuando na redução do sódio trocável, redução da CE e aumentando a disponibilidade de nutrientes, propiciando o desenvolvimento de plantas (ARTICLE, 2018; LUO *et al.*, 2017).

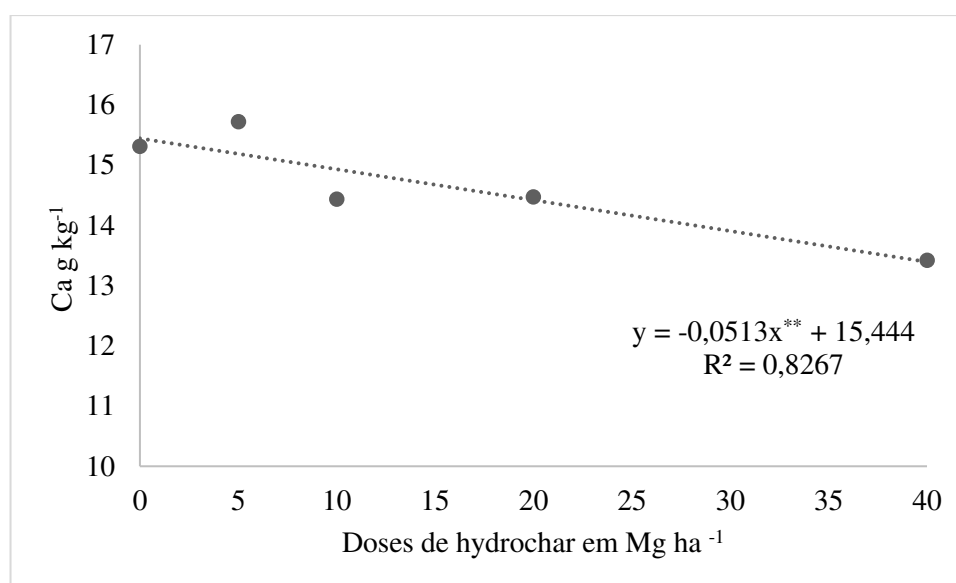
Resultados semelhantes também foram observados por WANG *et al.*(2024) ao utilizar carvão hidrotérmico em solo afeitado por sais na produção do tomate. Efeitos positivos também foram encontrados por TORABIAN; FARHANGI-ABRIZ; ALAEE, (2021) ao utilizar carvão hidrotérmico em solo com estresse salino, esses resultados positivos ocorreram devido o carvão hidrotérmico utilizado propiciar maior disponibilidade de nutrientes e evitar a disponibilidade de Na.

## 5.8 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NO FEIJÃO CAUPI

Quanto ao desenvolvimento do feijão-caupi, submetido aos tratamentos com Carvão hidrotérmico e regas com solução salina e sem sais, foram feitas análises dos principais nutrientes do seu tecido vegetal (Ca, Mg, K e P) e foi quantificada a massa fresca e massa seca, porém, nesse último caso, não houve normalidade nos dados estatísticos.

O Ca presente na planta, quando comparadas as duas salinidades, apresentou diferença estatística. As médias de Ca em plantas regadas com solução salina foi de  $14,23 \text{ g kg}^{-1}$  e com solução sem sal foi de  $15,12 \text{ g kg}^{-1}$ . Quanto às doses de carvão hidrotérmico, notou-se uma correlação negativa, conforme observado na Figura 10 abaixo, porém observa-se que a maior média de Ca nas plantas foi observada no tratamento com  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Quando correlacionada salinidade e tratamento não houve diferença estatística.

**Figura 08-** Cálcio no Feijão Caupi em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

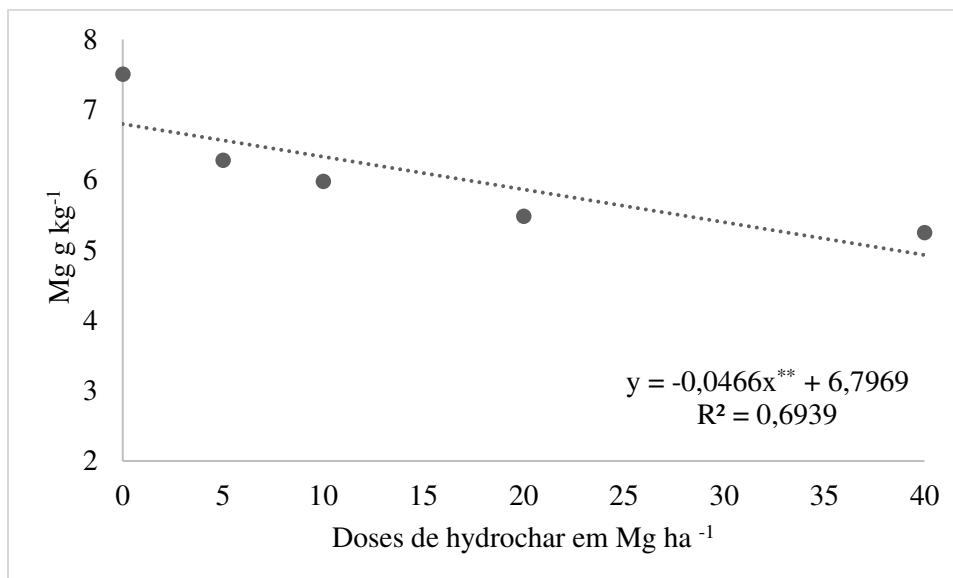


\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

Fonte: Próprio autor.

Diferenças nas médias de Mg foram significativas em relação às salinidades, observou-se que as plantas regadas com solução salina foram de  $5,58 \text{ g kg}^{-1}$  e  $6,62 \text{ g kg}^{-1}$  para solução sem sais. Em relação aos tratamentos com carvão hidrotérmico, houve correlação negativa (Figura 11) na interação salinidade e tratamento não houve diferença estatística.

**Figura 09-** Magnésio no Feijão Caupi em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022

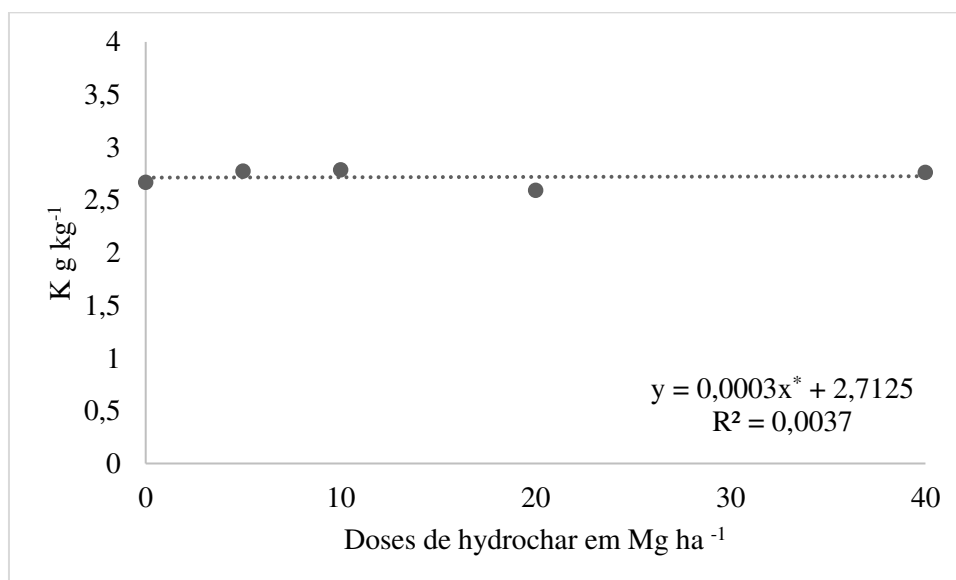


\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

Fonte: Próprio autor.

Em relação ao K, não houve diferença estatística das médias em relação à salinidade e nem na interação salinidade com tratamento. Houve diferença estatística das médias em relação às doses de Carvão hidrotérmico, porém não houve nenhuma correlação (figura 12).

**Figura 10-** Potássio no Feijão Caupi em função de doses de carvão hidrotérmico testado com água salina e sem sais em colunas de solo com estrutura preservada coletado em Pentecoste-CE no ano de 2022



\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

Fonte: Próprio autor.

Quando ao P presente no tecido das plantas, houve diferenças estatísticas nas médias em relação à salinidade. Na salinidade 1 a média foi de  $0,90 \text{ g kg}^{-1}$  e na salinidade 2 a

média foi de  $1,20 \text{ g kg}^{-1}$ . Não houve nenhuma diferença estatística em relação aos tratamentos, e nem na interação salinidade e tratamento.

Ao observar as concentrações de Ca, Mg, K e P no tecido vegetal, o que chama atenção é a diferença de concentração de Ca e Mg nas plantas que foi submetida ao estresse salino, sendo menor em concentração em relação às plantas regada sem sais. O que não foi verificável nas plantas regadas apenas com água destilada, sendo o mesmo solo, mesmas doses de carvão hidrotérmico e lâmina de água equivalente. Essa resposta pode estar relacionada a eficiência de adsorção expressa pelo carvão hidrotérmico. Por se tratar de uma matéria prima mais homogênea como é o bagaço de caju, pode apresentar grupos funcionais contendo oxigênio, apresentando cargas eletrostáticas que imobilizam elementos catiônicos disponíveis em solução (CHU, et. al., 2022). Que é o caso dos grupos hidroxila e carboxila que são responsáveis por manter adsorvido os cátions, oriundos da solução salina aplicada (EBRAHIMI et al., 2022; ANTERO, et. al., 2019; GAO, et. al., 2024).

Essa resposta é observada logo na primeira dose de carvão hidrotérmico, a de  $5 \text{ Mg.h}^{-1}$ , demonstrando o efeito de imobilização mais acentuado nas doses seguintes, o que apresentou correlação negativa entre doses e salinidade.

Observou-se o efeito contrário na planta que não foi submetida ao estresse salino, ela apresentou maiores concentrações de Mg e Ca, isso pode estar relacionado com a disponibilidade de sais do próprio solo, considerando que seja uma característica pré-existente da área onde o solo foi coletado. Entende-se então que o efeito tampão do carvão hidrotérmico é desempenhado em contato direto com os elementos dissolvidos em solução. O que não foi observado em relação à reação carvão hidrotérmico-solo sem solução salina, provavelmente isso se relacione com o período de incubação para que se tenha respostas reativas mais efetivas entre solo e carvão hidrotérmico (EBRAHIMI et al., 2022).

É possível verificar o mesmo comportamento de imobilização em relação ao P e K. Nesse sentido, evidencia-se a necessidade de analisar mais detalhadamente essa relação de tempo de inoculação com as reações e efeitos do sistema Carvão hidrotérmico -Solo-Planta.

Esse estudo foi conduzido em situações bem específicas quanto ao tipo de biocarvão, matéria prima, tipo de solo e irrigação de acordo com as condições climáticas regionais, planta e tempo de experimento. Isso abre lacunas para estudos futuros, mais duradouros, com outros tipos de plantas e solos.

## 6 CONCLUSÃO

Em consonância com os resultados deste trabalho, o carvão hidrotérmico produzido a partir do bagaço de caju mitigou os efeitos da salinidade do solo, mesmo quando submetido a irrigação salina e favoreceu o desenvolvimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*(L.) Walp.). Sendo a doses mais eficaz, no contexto estudado, foi a de 20 Mg.h<sup>-1</sup>.

Desse modo, é possível concluir que o carvão hidrotérmico produzidos a partir do bagaço de caju é um bom condicionador do solo e pode ser utilizado para remediar solos irrigados com solução salina, além de favorecer o desenvolvimento do feijão-caupi.

## REFERÊNCIAS

- ABABSA, Nawal; BOUDJABI, Sonia; CHENCHOUNI, Haroun. Biochar Amendments Changed Soil Properties and Improved Cereal Crop Growth Under Salt Stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 4, p. 4912–4925, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01453-7>. Acesso em: 22 jun. 2022.
- ABAGANDURA, Gandura Omar *et al.* Soil greenhouse gas emissions, organic carbon and crop yield following pinewood biochar and biochar–manure applications at eroded and depositional landscape positions: A field trial in South Dakota, USA. **Soil Use and Management**, v. 38, n. 1, p. 487–502, 2022.
- ABBAS, Akhtar *et al.* Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 55–57, p. 43–52, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.004>. Acesso em: 26 jun. 2022.
- 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, 2015.
- AMALINA, Farah *et al.* Advanced techniques in the production of biochar from lignocellulosic biomass and environmental applications. **Cleaner Materials**, v. 6, n. August, p. 100137, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100137>. Acesso em: 22 ago. 2022.
- ANTERO, R. V. P. *et al.* Obtenção de carvão hidrotérmico a partir de carbonização hidrotérmica de cascas do fruto de *Magonia pubescens* A. St. Hil. Sapindaceae: Caracterização e avaliação em processo de adsorção. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 24, p. e12378, 2019.
- ARAÚJO FILHO, José Coelho, *et al.* Solos do Semiárido Características e estoque de carbono. In: **Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira** / Vanderlise Giongo, Francislene Angelotti, editoras técnicas. – Brasília, DF : Embrapa,. 2022. p. 93-112.
- AZADI, Nahid; RAIESI, Fayez. Sugarcane bagasse biochar modulates metal and salinity stresses on microbial functions and enzyme activities in saline co-contaminated soils. **Applied Soil Ecology**, v. 167, n. March, p. 104043, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104043>. Acesso em: 16 mar. 2022.
- AZEEM, Muhammad *et al.* Biochar improves soil quality and N<sub>2</sub>-fixation and reduces net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in a dryland legume–cereal cropping system. **Soil and Tillage Research**, v. 186, n. April 2018, p. 172–182, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.007>. Acesso em: 24 abr. 2022.
- BAI, Xiaohan *et al.* Exploring the negative effects of biochars on the germination, growth, and antioxidant system of rice and corn. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 3, p. 107398, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107398>. Acesso em: 15 abr. 2022.



BAYTAR, Orhan; ŞAHIN, Ömer; EKINCI, Arzu. Effect of environmentally friendly and efficient metal-free hydrochars as catalysts on sodium borohydride hydrolysis. **Fuel**, v. 346, p. 128308, 2023.

BENTO, Lucas Raimundo *et al.* Release of nutrients and organic carbon in different soil types from carvão hidrotérmico obtained using sugarcane bagasse and vinasse. **Geoderma**, v. 334, p. 24-32, 2019.

BENTO, Lucas Raimundo *et al.* Release of nutrients and organic carbon in different soil types from carvão hidrotérmico obtained using sugarcane bagasse and vinasse. **Geoderma**, v. 334, p. 24-32, 2019.

BEZERRA, Anna Karine Paiva *et al.* Rotação cultural feijão-caupi caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1075–1082, 2010.

BONA, Daniela *et al.* Carvão hidrotérmico and carvão hidrotérmico co-compost from OFMSW digestate for soil application: 2. agro-environmental properties. **Journal of Environmental Management**, v. 312, n. August, p. 115910, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115910>. Acesso em: 24 abr. 2021.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF**, 25 dez. 2017. Seção 1, p. 26-27-34.

CAVALCANTE, Lourival F. *et al.* Recuperação de solos afetados por sais. In: Gheyi, Hans Raj, et al., (org.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, CE: INCTSal, 2016. p. 461-477.

CHA, Jin Sun *et al.* Production and utilization of biochar: A review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 40, p. 1–15, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>. Acesso em: 24 mar. 2023.

CHIA, Chee H.; DOWNIE, Adriana; MUNROE, Paul. Characteristics of biochar: physical and structural properties. In: **Biochar for environmental management: Science, technology and implementation**. LEHMANN, Johannes; JOSEPH, Stephen (ed.) Second Edition. 2015. p. 139-163

CHU, Qingnan *et al.* Sewage sludge-derived carvão hidrotérmico that inhibits ammonia volatilization, improves soil nitrogen retention and rice nitrogen utilization. **Chemosphere**, v. 245, p. 125558, 2020.

CONAB. BRAZILIAN NATIONAL FOOD SUPPLY AGENCY. **Acompanhamento da Safra Brasileira. Boletim da Safra 2021, v. 9, n. Terceiro levantamento**, p. 60, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/>. Acesso em: 24 abr. 2023.

CORWIN, Dennis L. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. **European Journal of Soil Science**, v. 72, n. 2, p. 842–862, 2021.

CUI, Liqiang *et al.* Revitalizing coastal saline-alkali soil with biochar application for improved crop growth. **Ecological Engineering**, v. 179, n. March, p. 106594, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106594>. Acesso em: 24 mar. 2023.

CUI, Qian *et al.* Biochar and effective microorganisms promote *Sesbania cannabina* growth and soil quality in the coastal saline-alkali soil of the Yellow River Delta, China. **Science of the Total Environment**, v. 756, p. 143801, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143801>. Acesso em: 15 ago. 2023.

DE CARVALHO, José Francisco *et al.* Production components of *Vigna unguiculata* (L. Walp) irrigated with brackish water under different leaching fractions. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 966–975, 2016.

DE MELO, Alberto S. *et al.* Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: Metabolic changes and tolerance induction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 190–197, 2022.

DO NORDESTE, SUDENE—Superintendência do Desenvolvimento. Delimitação do semiárido. v. 9, 2021, sn. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido> Acesso em: ago 2023.

DUARTE, Giuliana Rayane Barbosa. POTÁSSIO NAS PLANTAS: TUDO QUE VOCÊ PRECISA SABER PARA FAZER MELHOR USO DELE. 2019. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/potassio-nas-plantas/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

EBRAHIMI, M. *et al.* Effects of carvão hidrotérmico derived from hydrothermal treatment of sludge and lignocellulose mixtures on soil properties, nitrogen transformation, and greenhouse gases emissions. **Chemosphere**, v. 307, p. 135792, 1 nov. 2022.

FAGERIA, N. K.; ARAUJO, A. P.; STONE, L. F. MUDANÇAS QUÍMICAS NA RIZOSFERA. Vander de Freitas; ALLEONI, Luís Reynaldo Ferraciú (Org.). In: **Química e mineralogia do solo: conceitos básicos e aplicações**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2019. p. 857-882.

FAROOQ, Muhammad *et al.* Integrated use of seed priming and biochar improves salt tolerance in cowpea. **Scientia Horticulturae**. V. 272, 2020.

FENG, J. *et al.* Divergent composition and turnover of soil organic nitrogen along a climate gradient in arid and semiarid grasslands. **Geoderma**, v. 327, p. 36–44, 1 out. 2018.

FENG, S.; FU, Q. Expansion of global drylands under a warming climate. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, n. 19, p. 10081–10094, 2013.

FERNANDES, Moabe Ferreira; QUEIROZ, Luciano Paganucci. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 51–56, 2018.

GAO, G. *et al.* The potential and prospects of modified biochar for comprehensive management of salt-affected soils and plants: A critical review. **Science of The Total Environment**, v. 912, p. 169618, 20 fev. 2024.

GARCIA-FRANCO, Noelia *et al.* Pruning residues incorporation and reduced tillage improve soil organic matter stabilization and structure of salt-affected soils in a semi- arid Citrus tree orchard. *Soil and Tillage Research*, v. 213, n. June, 2021.

GE, Xiangyu *et al.* Updated soil salinity with fine spatial resolution and high accuracy: The synergy of Sentinel-2 MSI, environmental covariates and hybrid machine learning approaches. *Catena*, v. 212, n. 666, p. 106054, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106054>. Acesso em: 24 jan. 2023.

GOGILE, Ashebir; ANDARGIE, Mebeasilassie; MUTHUSWAMY, Manikanidan. The Response of Some Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Genotypes for Salt Stress during Germination and Seedling Stage. Original Text **Journal Of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 9, n. 4, p. 73–84, 2013.

GOMES, Ana M F *et al.* Drought response of cowpea ( *Vigna unguiculata* ( L . ) Walp . ) landraces at leaf physiological and metabolite profile levels. **Environmental and Experimental Botany**, v. 175, n. February, p. 104060, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104060>. Acesso em: 10 abr. 2023.

HAFEZ, Emad M. *et al.* Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 2, p. 587-602, 2021.

HE, Kang *et al.* Biochar amendment ameliorates soil properties and promotes *Miscanthus* growth in a coastal saline-alkali soil. **Applied Soil Ecology**, v. 155, n. May, p. 103674, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103674>. 10 fev. 2023.

HUANG, M. *et al.* Increasing aridity affects soil archaeal communities by mediating soil niches in semi-arid regions. **Science of The Total Environment**, v. 647, p. 699–707, Acesso em: 10 jan. 2019.

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

IPPOLITO, James A. *et al.* Biochar elemental composition and factors influencing nutrient retention. In: *Biochar for environmental management*. **Routledge**, 2015. p. 139-163.

JAJARMI, Zahra *et al.* How does calcium and sodium in saline water affect the potential of different rates and size of sugarcane biochar to soil water repellency remediation? **Journal of Environmental Management**, v. 344, p. 118548, 2023.

KAMBO, Harpreet Singh; DUTTA, Animesh. A comparative review of biochar and carvão hidrotérmico in terms of production, physico-chemical properties and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 359–378, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.050>. Acesso em: 11 dez. 2022.

KHOSRAVI, Anahita *et al.* Hydrochars as slow - release phosphorus fertilizers for enhancing corn and soybean growth in an agricultural soil. **Carbon Research**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44246-023-00086-w>. Acesso em: 23 ago. 2022.

KHOSRAVI, Anahita *et al.* Production and characterization of carvão hidrotérmico s and their application in soil improvement and environmental remediation. **Chemical Engineering Journal**, v. 430, n. P4, p. 133142, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133142>. Acesso em: 25 fev. 2023.

KHOSRAVI, Anahita *et al.* Production and characterization of hydrochars and their application in soil improvement and environmental remediation. **Chemical Engineering Journal**, v. 430, n. P4, p. 133142, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133142>. Acesso em: 25 mar. 2022.

KRZYSZCZAK, Agnieszka; DYBOWSKI, Michał P.; CZECH, Bożena. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives in biochars: The effect of feedstock and pyrolysis conditions. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 160, n. July, 2021.

LANDSCAPE, North-east Maasai *et al.* Characterization of soil health and nutrient content status across the. **Environmental Challenges**, v. 14, n. September 2023, p. 100847, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100847>. Acesso em: 14 jan. 2023.

LASHARI, Muhammad Siddique *et al.* Biochar-manure compost in conjunction with pyrolygneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: A 2-year field experiment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 6, p. 1321–1327, 2015.

LEE, Xinqing *et al.* Use of biochar to manage soil salts and water: Effects and mechanisms. **Catena**, v. 211, n. January, p. 106018, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106018>. Acesso em: 04 mai. 2023.

LEHMANN, Johannes *et al.* Biochar in climate change mitigation. **Nature Geoscience**, v. 14, n. 12, p. 883–892, 2021.

LEHMANN, Johannes *et al.* Persistence of biochar in soil. In: Biochar for environmental management. **Routledge**, 2015. p. 235-282.

LEHMANN, Johannes; JOSEPH, Stephen. Biochar for environmental management: an introduction. In: **Biochar for environmental management: Science, technology and implementation**. LEHMANN, Johannes; JOSEPH, Stephen (ed.) Second Edition. 2015. p. 1- 15.

LIN, X. W. *et al.* Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. **European Journal of Soil Science**, v. 66, n. 2, p. 329–338, 2015.

LIU, Mengli *et al.* Saline-alkali soil applied with vermicompost and humic acid fertilizer improved macroaggregate microstructure to enhance salt leaching and inhibit nitrogen losses. **Applied Soil Ecology**, v. 156, n. May, p. 103705, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103705>. Acesso em: 17 fev. 2023.

LUO, Xianxiang *et al.* Use of biochar-compost to improve properties and productivity of the degraded coastal soil in the Yellow River Delta, China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 17, p. 780-789, 2017.

MAESTRE, F. T. *et al.* It is getting hotter in here: determining and projecting the impacts of global environmental change on drylands. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 367, n. 1606, p. 3062–3075, 19 nov. 2012.

MARÍA, Rosa; LIDÓN, Antonio; FORNES, Fernando. Biochars and hydrochars as substrate constituents for soilless growth of myrtle and mastic. **Industrial Crops & Products**, v. 94, p. 132–142, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.024>. Acesso em: 18 mar. 2023.

MELLO, J. W. V.; PEREZ, D. V. EQUILÍBRIO QUÍMICO DAS REAÇÕES DO SOLO. Vander de Freitas; ALLEONI, Luís Reynaldo Ferraciú (Org.). **In: Química e mineralogia do solo: conceitos básicos e aplicações**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2019. p. 151-249.

MORTIMORE, Michael *et al.* Dryland Opportunities: A new paradigm for people, ecosystems and development. **International Union for Conservation of Nature (IUCN)**, 2009.  
MUKHERJEE, Atanu; ZIMMERMAN, Andrew R. Geoderma Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar – soil mixtures. **Geoderma**, v. 193–194, p. 122–130, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.002>. Acesso em: 05 fev. 2023.

ONU BRASIL. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. a/Res/70/1, p. 41, 2015. Disponível em: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E%0Ahttp://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/Agenda2030-completo-site.pdf](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E%0Ahttp://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/Agenda2030-completo-site.pdf). Acesso em: 25 fev. 2023.

PALÁCIO, Helba AQ *et al.* Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 395-402, 2011.

PEREIRA, Ednângelo Duarte *et al.* Saline stress effect on cowpea beans growth under biofertilizer correction. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 5, p. 1328–1338, 2019.

PEREIRA, Sofia I.A. *et al.* Promotion of sunflower growth under saline water irrigation by the inoculation of beneficial microorganisms. **Applied Soil Ecology**, v. 105, p. 36–47, 2016.

PESSOA, Luiz Guilherme Medeiros *et al.* Characterization and Classification of Halomorphic Soils in the Semiarid Region of Northeastern Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 4, p. 405, 2019.

RAIMUNDO, Lucas *et al.* Release of nutrients and organic carbon in different soil types from hydrochar obtained using sugarcane bagasse and vinasse. **Geoderma**, v. 334, n. June 2017, p. 24–32, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.034>. Acesso em: 10 jun. 2022.

REDONDO-GÓMEZ, Susana *et al.* Consortia of plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from halophytes improve response of eight crops to soil salinization and climate change conditions. **Agronomy**, v. 11, n. 8, 2021.

REN, Jie *et al.* Chemosphere Effect of sewage sludge hydrochar on soil properties and Cd immobilization in a contaminated soil. **Chemosphere**, v. 189, p. 627–633, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.102>. Acesso em: 19 fev. 2022.

REYNOLDS, J. F. *et al.* Ecology: Global desertification: Building a science for dryland development. *Science*, v. 316, n. 5826, p. 847–851, 11 maio 2007.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. **In: CURI, N., et al., (org.).** Tópicos em Ciências do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2003.

RIBEIRO, Mateus Rosas; BARROS, Maria De Fatima Cavalcanti; FREIRE, Maria Betânia Galvão Dos Santos. QUÍMICA DOS SOLOS SALINOS E SÓDICOS. MELO, Vander de Freitas; ALLEONI, Luís Reynaldo Ferraciú (Org.). **In: Química e mineralogia do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.** 2009. p. 1145-1180.

RIBEIRO, Mateus. R.; RIBEIRO FILHO, Mateus. R.; JACOMINE, Paulo, K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. **In: GHEYI, Hans, R. at al., (org.).** Manejo da salinidade na agricultura: Estudos Básicos e aplicados. Fortaleza, CE. INCTSal, 2016. p. 9-15.

RICHARDS, Lourenço, A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. **Soil Science: August 1954 - Volume 78 - Issue 2 - p 154.**

RILLIG, Matthias C *et al.* Material derived from hydrothermal carbonization : Effects on plant growth and arbuscular mycorrhiza. **Applied Soil Ecology**, v. 45, n. 3, p. 238–242, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.04.011>. Acesso em: 07 fev. 2023.

ROEHRDANZ, Michael *et al.* Co-composted carvão hidrotérmico substrates as growing media for horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 252, n. February, p. 96–103, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.055>. Acesso em: 20 fev. 2023.

ROEHRDANZ, Michael *et al.* Hydrothermal carbonization of biomass from landscape management - Influence of process parameters on soil properties of carvão hidrotérmicos. **Journal of Environmental Management**, v. 173, p. 72–78, 2016.

RONIX, Amanda *et al.* Biochar from the mixture of poultry litter and charcoal fines as soil conditioner: Optimization of preparation conditions via response surface methodology. **Bioresource Technology Reports**, v. 15, n. April, 2021.

SAHAB, Sinha *et al.* Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies. **Science of the Total Environment**, v. 764, p. 144164, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144164>. Acesso em: 28 jan. 2023.

SAIFULLAH, *et al.* Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 625, p. 320–335, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.257>. Acesso em: 15 fev. 2023.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Ed. 5, rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.**

SCHIMMELPFENNIG, Sonja *et al.* Agriculture, Ecosystems and Environment Biochar , hydrochar and uncarbonized feedstock application to permanent grassland — Effects on greenhouse gas emissions and plant growth. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 39–52, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.027>. Acesso em: 12 fev. 2022.

SETIA, Raj *et al.* Soil salinity decreases global soil organic carbon stocks. **Science of the Total Environment**, v. 465, p. 267–272, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.028>. Acesso em: 18 jan. 2023.

SHE, Dongli *et al.* Benefits of soil biochar amendments to tomato growth under saline water irrigation. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2018.

SHEN, Yafei; YUAN, Rui. Pyrolysis of agroforestry bio-wastes with Calcium/Magnesium oxides or carbonates – Focusing on biochar as soil conditioner. **Biomass and Bioenergy**, v. 155, n. October, p. 106277, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106277>. Acesso em: 20 jul. 2022.

SILVA, Fernando José Araújo da; ARAÚJO, Andréa Limaverde de; SOUZA, Raimundo Oliveira de. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 28, n. 2, p. 136-159, dez. 2007

SINGH, Ajay. Managing the salinization and drainage problems of irrigated areas through remote sensing and GIS techniques. **Ecological Indicators**, v. 89, n. February, p. 584–589, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.041>.

SINGH, Gurpreet *et al.* Rice straw biochar application to soil irrigated with saline water in a cotton-wheat system improves crop performance and soil functionality in north- west India. **Journal of Environmental Management**, v. 295, n. July, p. 113277, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113277>. Acesso em: 18 jul. 2022.

SINGH, Rajanbeer; MAVI, Manpreet S.; CHOUDHARY, Om Prakash. Saline Soils Can Be Ameliorated by Adding Biochar Generated From Rice-Residue Waste. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 47, n. 2, 2019.

SUAREZ, Eneko *et al.* Effect of garden and park waste hydrochar and biochar in soil application : a comparative study. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 13, n. 18, p. 16479–16493, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04015-0>. Acesso em: 20 jul. 2022.

SUDENDE, Superintendência Do Desenvolvimento Do Nordeste Delimitação Do Semiárido. **Delimitação do semiárido- 2021- Relatório Final**. Recife, 2021.

SUN, Ruixue *et al.* Comparative study of pyrochar and carvão hidrotérmico on peanut seedling growth in a coastal salt-affected soil of Yellow River Delta, China. **Science of the Total Environment**, v. 833, n. October 2021, p. 155183, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155183>. Acesso em: 20 jun. 2022.

SUN, Ruixue *et al.* Science of the Total Environment Comparative study of pyrochar and hydrochar on peanut seedling growth in a coastal salt-affected soil of Yellow River Delta , China. **Science of the Total Environment**, v. 833, n. October 2021, p. 155183, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155183>. Acesso em: 02 jul. 2022.

SUN, Yang *et al.* The application of machine learning methods for prediction of metal immobilization remediation by biochar amendment in soil. **Science of The Total Environment**, v. 829, p. 154668, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154668>. Acesso em: 20 mai. 2022.

TEIXEIRA, P.C. *et al.* Manual de Métodos de Análise de Solo. 3ª ed. Distrito Federal: **Embrapa**, 573 p. 2017.

TIAN, Fei *et al.* Salinity stress effects on transpiration and plant growth under different salinity soil levels based on thermal infrared remote (TIR) technique. **Geoderma**, v. 357, n. May 2019, p. 113961, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113961>. Acesso em: 20 jun. 2023.

TLAHIG, Samir *et al.* Response to Salinity in Legume Species: An Insight on the Effects of Salt Stress during Seed Germination and Seedling Growth. **Chemistry and Biodiversity**, v. 18, n. 4, 2021.

TORABIAN, Shahram; FARHANGI-ABRIZ, Salar; ALAEE, Tahereh. Hydrochar mitigates salt toxicity and oxidative stress in maize plants. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 8, p. 1104–1118, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1779227>. Acesso em: 07 jul. 2022.

UNIYAL, Bhumika; JHA, Madan Kumar; VERMA, Arbind Kumar. Assessing Climate Change Impact on Water Balance Components of a River Basin Using SWAT Model. **Water Resources Management**, v. 29, n. 13, p. 4767–4785, 2015.

VAN DE CRAATS, Daniël *et al.* Soil sodicity originating from marginal groundwater. **Vadose Zone Journal**, v. 19, n. 1, p. 1–14, 2020.

VARELA, Anna Lída Nunes *et al.* A resistant cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) genotype became susceptible to cowpea severe mosaic virus (CPSMV) after exposure to salt stress. **Journal of Proteomics**, v. 194, n. May 2018, p. 200–217, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2018.11.015>. Acesso em: 14 fev. 2023.

WANG, Tengfei *et al.* Co-hydrothermal carbonization of food waste-woody sawdust blend: Interaction effects on the carvão hidrotérmico properties and nutrients characteristics. **Bioresource Technology**, v. 316, p. 123900, 2020.

WANG, Xiao *et al.* Science of the Total Environment Cattle manure hydrochar posed a higher efficiency in elevating tomato productivity and decreasing greenhouse gas emissions



than plant straw hydrochar in a coastal soil. **Science of the Total Environment**, v. 912, n. June 2023, p. 168749, 2024a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168749>. Acesso em: 06 jul. 2023.

WANG, Xiao *et al.* Science of the Total Environment Cattle manure hydrochar posed a higher efficiency in elevating tomato productivity and decreasing greenhouse gas emissions than plant straw hydrochar in a coastal soil. **Science of the Total Environment**, v. 912, n. November 2023, p. 168749, 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168749>. Acesso em: 20 jul. 2023.

WIN, Khin Thuzar; OO, Aung Zaw. Genotypic difference in salinity tolerance during early vegetative growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) from Myanmar. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 4, n. 4, p. 449–455, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2015.08.009>. Acesso em: 20 fev. 2023.

XIAO, Liang; MENG, Fande. Evaluating the effect of biochar on salt leaching and nutrient retention of Yellow River Delta soil. **Soil Use and Management**, v. 36, n. 4, p. 740–750, 2020.

XIONG, Jiangbo *et al.* Speciation of main nutrients (N/P/K) in carvão hidrotérmico s produced from the hydrothermal carbonization of swine manure under different reaction temperatures. **Materials**, v. 14, n. 15, p. 4114, 2021.

YU, Haowei *et al.* Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 232, n. October 2018, p. 8–21, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.117>. Acesso em: 18 mar. 2023.

ZAMAN, Mohammad; SHAHID, Shabbir A.; HENG, Lee. Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques. **Springer Nature**, 2018.

ZHANG, Qianqian *et al.* Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, p. 118435, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118435>. Acesso em: 20 dez. 2023.

ZHENG, Hao *et al.* Enhanced growth of halophyte plants in biochar-amended coastal soil: roles of nutrient availability and rhizosphere microbial modulation. **Plant, cell & environment**, v. 41, n. 3, p. 517-532, 2018.

ZHENG, Ningguo *et al.* Can aged biochar offset soil greenhouse gas emissions from crop residue amendments in saline and non-saline soils under laboratory conditions? **Science of the Total Environment**, v. 806, p. 151256, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151256>. Acesso em: 20 jul. 2022.

ZÖRB, C.; GEILFUS, C. M.; DIETZ, K. J. Salinity and crop yield. **Plant Biology**, v. 21, p. 31–38, 2019.