



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

JEAN PEREIRA GUIMARÃES

**USO DO BIOCÁRVÃO COMO CONDICIONADOR DE SOLO SÓDICO EM
CULTIVO BIODIESEL DE ALGODÃO**

Campina Grande – PB
Agosto - 2021

JEAN PEREIRA GUIMARÃES

**USO DO BIOCÁRVÃO COMO CONDICIONADOR DE SOLO SÓDICO EM
CULTIVO BLOSSALINO DE ALGODÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Campina Grande – UFCG, como parte das
exigências do curso de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção do título
de Doutor em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Engenharia de Irrigação e Drenagem

Orientador(a):

Prof.^a Dr.^a. Vera Lúcia Antunes de Lima – UFCG/CTRN/UAEA

Dr. João Henrique Zonta – EMBRAPA/CNPA

Campina Grande – PB

Agosto – 2021

G963a Guimarães, Jean Pereira.
 Uso do biocarvão como condicionador de solo sódico em cultivo
 biossalino de algodão / Jean Pereira Guimarães. – Campina Grande,
 2021.
 86 f. : il. color.

 Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de
 Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.
 "Orientação: Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima, Dr. João
 Henrique Zonta".
 Referências.

 1. Biochar. 2. BRS Aroeira. 3. Algodão (*Gossypium hirsutum* L.).
 4. Condicionador de Solo. 5. Cultivo Biossalino. 6. Irrigação e
 Drenagem. I. Lima, Vera Lúcia Antunes de. II. Zonta, João Henrique.
 III. Título.

CDU 631.878:633.511(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

JEAN PEREIRA GUIMARÃES

USO DO BIOCÁRVÃO COMO
CONDICIONADOR DE SOLO SÓDICO EM
CULTIVO BÍOSSALINO DE ALGODÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 30/08/2021

Vera Lucia Antunes de Lima – Orientadora – UAEA/CTRN/UFCG

João Henrique Zonta – Orientador – CNPA/EMBRAPA

Maria Sallydelândia Sobral de Farias – Examinadora Interna - UAEA/CTRN/UFCG

Magna Maria Macedo Nunes Costa – Examinadora Externa - CNPA/EMBRAPA

Tainara Tâmara Santiago Silva - Examinadora Externa - IFGO/CAMPOS BELOS



Documento assinado eletronicamente por **João Henrique Zonta, Usuário Externo**, em 01/09/2021, às 10:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Magna Maria Macedo Nunes Costa, Usuário Externo**, em 01/09/2021, às 12:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tainara Tamara Santiago Silva, Usuário Externo**, em 02/09/2021, às 15:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/09/2021, às 13:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/09/2021, às 13:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1744723** e o código CRC **6DC55D92**.

DEDICO

A Deus

Aos meus pais Gilvan Lima Guimarães e Luzimary Pereira Guimarães, por serem os grandes responsáveis por mais essa conquista na minha vida;

OFEREÇO

Aos meus queridos irmãos Geovani Pereira Guimarães, Luanny Kelly Pereira Guimarães, e a minha namorada Laysa Gabryella de Souza Laurentino, que sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola (PPGEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela oportunidade concedida.

À Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À minha orientadora, Prof^ª. Vera Lúcia Antunes de Lima, pela amizade, confiança e apoio durante a realização deste trabalho;

Ao pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa com o Algodão (CNPQ) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), João Henrique Zonta, pela coorientação e pelo valioso auxílio que possibilitou a realização deste trabalho;

À professora Maria Sallydelândia Sobral de Farias, pela disponibilidade em compor a banca examinadora deste trabalho e por todo o apoio, amizade e companheirismo durante a minha jornada acadêmica;

À pesquisadora da EMBRAPA/CNPQ, Magna Maria Macedo Nunes Costa, pela disponibilidade em compor a banca examinadora deste trabalho e por todo apoio e receptividade nos momentos de planejamento e execução deste trabalho;

À professora do Instituto Federal Goiano (IFGO), Tainara Tâmara Santiago Silva, pela amizade e disponibilidade em compor a banca examinadora deste trabalho;

A todos os professores e servidores do PPGEA, pela prestatividade e por todo o conhecimento compartilhado;

Aos amigos: Antônio Ramos, Felipe Guedes, Laysa Gabryella, Leandro Sena, Mayra Melo, pela essencial ajuda na condução das atividades desta pesquisa;

Aos colegas de Pós-Graduação: André Alisson, Danielle Melo, Elka Costa, Hallyson Oliveira, Jailton Garcia, Jaricélia Sena, Mariana Oliveira, Tainara Tamara, Thiago Galvão, Vitória Ediclécia, Washington Benevenuto e aos demais não citados, pelo conhecimento compartilhado e momentos de descontração;

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

Lista de figuras

Figura 1. Processo de conversão da biomassa triturada de frutos de coco verde (a) em biocarvão bruto (b) e homogeneização (c) em laboratório.....	29
Figura 2. Unidade experimental utilizada para incubação do solo com biocarvão (a) e cultivo do algodoeiro BRS Aroeira (b).....	32
Figura 3. Processo de lixiviação do solo após a incubação com biocarvão.	32
Figura 4. Semeio do algodoeiro BRS Aroeira (a) e planta após o último desbaste (b) conduzida até o fim do experimento.....	33
Figura 5. Potencial hidrogeniônico do complexo de troca - pH_{ct} (a), do extrato de saturação do solo - pH_{es} (b) e do lixiviado - $pH_{lixiviado}$ (c) de solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.	38
Figura 6. Condutividade elétrica do complexo de troca - CE_{ct} (a), do extrato de saturação do solo - CE_{es} (b) e do lixiviado - $CE_{lixiviado}$ (c) de solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.	40
Figura 7. Teores de sódio no complexo de troca - Na^+_{ct} (a), no extrato de saturação do solo - Na^+_{es} (b) e no lixiviado - $Na^+_{lixiviado}$ (c) de solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.	42
Figura 8. Teores de potássio no complexo de troca - K^+_{ct} (a), no extrato de saturação do solo - Na^+_{es} (b) e no lixiviado - $K^+_{lixiviado}$ (c) de solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.	43
Figura 9. Condutividade hidráulica saturada do solo (K_0) sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).	46
Figura 10. Densidade do solo (D_s) sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).	47
Figura 11. Diâmetro do caule - DC do algodoeiro BRS Aroeira aos 30 dias após o semeio (30DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão.	49
Figura 12. Diâmetro do caule - DC do algodoeiro aos 90 dias após o semeio (90DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).	50
Figura 13. Altura da planta - AP do algodoeiro BRS Aroeira aos 30 dias após o semeio (30DAS) cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).....	52

Figura 14. Altura da planta – AP do algodoeiro BRS Aroeira aos 90 dias após o semeio (90DAS) e aos 30 dias após o semeio (30DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).	53
Figura 15. Número de folhas – NF - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão, aos 30 (a) e 60 (b) dias após o semeio - DAS.	55
Figura 16. Número de folhas – NF - do algodoeiro BRS Aroeira aos 90 dias após o semeio (90DAS), cultivado em solo sódico, em função das doses de biocarvão aplicadas (a) e dos períodos de incubação do biocarvão no solo (b).	56
Figura 17. Área foliar – AF - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico, aos 30 dias após o semeio (30DAS), em função das doses de biocarvão (a), e aos 60 DAS, em função dos períodos de incubação do biocarvão no solo (b).	58
Figura 18. Área foliar – AF - do algodoeiro BRS Aroeira aos 90 dias após o semeio (90DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).....	59
Figura 19. Fitomassa fresca das folhas - FFF - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão.	61
Figura 20. Fitomassa fresca do caule – FFC - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b)...	62
Figura 21. Fitomassa fresca da parte aérea - FFPA do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).	63
Figura 22. Fitomassa seca do caule – FSC - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em função do período de incubação.....	64
Figura 23. Fitomassa seca da raiz – FSR - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão.....	65
Figura 24. Fitomassa seca da parte aérea – FSPA - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).	66
Figura 25. Dias para emissão do primeiro botão floral - EPBF (a), abertura da primeira flor - APF (b) e abertura do primeiro capulho – APC (c) do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão.	69
Figura 26. Número de maçãs abortadas – NMA - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico em função do período de incubação do biocarvão no solo.....	70

Figura 27. Peso de algodão em caroço – PAC - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b)...	72
Figura 28. Peso médio de algodão em pluma – PMAP - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).	73
Figura 29. Peso de 100 sementes do algodão BRS Aroeira em função do período de incubação do biocarvão no solo.....	74

Lista de tabelas

Tabela 1. Atributos físicos, químicos e de salinidade do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.	27
Tabela 2. Características químicas do biocarvão de biomassa de coco.....	30
Tabela 3. Características químicas de composto orgânico utilizado no experimento. ...	31
Tabela 4. Classificação de valores de condutividade hidráulica.	35
Tabela 5. Resumo da análise de variância da condutividade hidráulica saturada (K_0) e densidade (D_s) do solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.	44
Tabela 6. Resumo da análise de variância da variável diâmetro do caule – DC - aos 30, 60 e 90 dias após o semeio (DAS), do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).	48
Tabela 7. Resumo da análise de variância da altura da planta – AP - aos 30, 60 e 90 dias após o semeio (DAS), do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.	51
Tabela 8. Resumo da análise de variância do número de folhas - NF - aos 30, 60 e 90 dias após o semeio (DAS), do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.	54
Tabela 9. Resumo da análise de variância da área foliar – AF - do algodoeiro BRS Aroeira aos 30, 60 e 90 dias após o semeio (DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.	57
Tabela 10. Resumo da análise de variância das variáveis: fitomassa fresca das folhas (FFF), do caule (FFC), da raiz (FFR) e da parte aérea (FFPA) do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão, em distintos períodos de incubação.	60
Tabela 11. Resumo da análise de variância para as variáveis: fitomassa seca das folhas (FSF), do caule (FSC), da raiz (FSR) e da parte aérea (FSPA) do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.	64
Tabela 12. Resumo da análise de variância das variáveis: dias para a emissão do primeiro botão floral (EPBF), abertura da primeira flor (APF) e do primeiro capulho (APC); número de capulhos colhidos (NCC) e abortados (NCA) do algodoeiro BRS Aroeira,	

cultivado em solo sódico, adubado com biocarvão, em distintos períodos de incubação.....	67
Tabela 13. Resumo da análise de variância das variáveis de produção: produção de algodão em caroço (PAC), peso médio do capulho (PMC), produção média de algodão em pluma (PMAP) e peso de 100 sementes (P100S), do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão, em distintos períodos de incubação.....	71

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1. Degradação do solo pela salinização.....	17
3.2 Técnicas de recuperação de solos afetados por sais	18
3.2.1 Lixiviação do excesso de sais	18
3.2.2 Uso de condicionadores de solo	18
3.2.3 Fitorremediação.....	19
3.2.4 Fontes orgânicas.....	19
3.3 Uso do biocarvão e suas contribuições nas características dos solos afetados por sais.....	20
3.5 A cultura do Algodoeiro.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Coleta e caracterização do solo	26
4.2 Produção e caracterização do biocarvão	28
4.3 Instalação e condução do experimento	30
4.8 Variáveis Analisadas.....	34
4.8.1 Análise química do lixiviado coletado	34
4.8.2 Análise do solo após incubação e aplicação da lâmina de água	34
4.8.3 Variáveis relacionadas ao cultivo biossalino das plantas de algodoeiro.....	35
a) Variáveis de crescimento e desenvolvimento da cultura	35

b) Produção de fitomassa	36
c) Componentes de produção	36
4.9 Análise estatística.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1 Parâmetros de salinidade do solo	38
5.2 Condutividade hidráulica (K_0) e Densidade do solo (D_s)	44
5.2 Variáveis biométricas do algodoeiro BRS Aroeira	48
5.2.1 Diâmetro do caule - DC	48
5.2.2 Altura da planta - AP.....	51
5.2.3 Número de folhas - NF.....	54
5.2.4 Área foliar - AF	56
5.3 Variáveis de fitomassa do algodoeiro BRS Aroeira	60
5.4 Variáveis de desenvolvimento do algodoeiro BRS Aroeira	67
5.5 Variáveis de produção do algodoeiro BRS Aroeira	70
6. CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

USO DO BIOCARVÃO COMO CONDICIONADOR DE SOLO SÓDICO EM CULTIVO BLOSSALINO DE ALGODÃO

RESUMO: A recuperação de solos degradados pela salinização é um dos grandes desafios para o desenvolvimento agrícola do Semiárido Nordestino, principalmente, nos perímetros irrigados. Nesse sentido, pesquisadores buscam a utilização de produtos alternativos, a exemplo do biocarvão como uma das alternativas viáveis, devido às melhorias das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo já comprovadas. Com isso, objetivou-se através dessa pesquisa avaliar o uso do biocarvão produzido a partir da biomassa de coco verde, na recuperação de um solo sódico oriundo do perímetro irrigado de São Gonçalo-PB, além do crescimento e desenvolvimento do algodoeiro BRS Aroeira. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com esquema fatorial $(4 \times 4) + 1$, sendo quatro doses de biocarvão (5, 10, 15 e 20 t.ha⁻¹), quatro períodos de incubação do biocarvão no solo (0, 15, 30 e 45 dias) e um tratamento adicional (10 t.ha⁻¹ de calcário+20m³.ha⁻¹ de composto orgânico), em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, totalizando 51 unidades experimentais. Após os processos de incubação do biocarvão no solo e aplicação da lâmina de lixiviação, observou-se reduções do pH (18,64%), da condutividade elétrica no complexo de troca - CE_{ct} (73,82%), além dos teores de Na⁺_{ct} (89,4%) e K⁺_{es}, em relação aos valores iniciais do solo. Através do contraste notou-se que a condutividade hidráulica saturada do solo (K₀) obtida pelos tratamentos com biocarvão foi superior à média do tratamento adicional em 957,14%. Quanto às variáveis biométricas do algodoeiro, houve influência das doses de biocarvão aplicadas em todos os períodos avaliados, ao final da fase de crescimento de forma positiva para: diâmetro do caule, altura da planta, número de folhas e área foliar, na dose de 20 t.ha⁻¹. Os tratamentos com uso do biocarvão proporcionaram média de produção de algodão em caroço superior à do tratamento adicional em 10,19%. De modo geral, o uso do biocarvão no tratamento do solo com problema de sodicidade se mostrou eficiente, com os resultados equivalentes aos do uso com carbonato de cálcio (tratamento adicional) em diversas variáveis estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Biochar, BRS Aroeira, *Gossypium hirsutum* L, condicionador de solo, cultivo blossalino.

USE OF BIOCARBON AS SODIUM SOIL CONDITIONER IN COTTON BIOSALLINE CULTIVATION

ABSTRACT: The recovery of soils degraded by salinization is one of the great challenges for agricultural development in the semi-arid region of the Northeast, especially in irrigated perimeters. In this sense, researchers are looking to use alternative products, such as biochar as one of the viable alternatives, due to the improvements in the chemical, physical and biological properties of the soil that have already been proven. Thus, the objective of this research was to evaluate the use of biochar produced from green coconut biomass, in the recovery of a sodic soil from the irrigated perimeter of São Gonçalo-PB, in addition to the growth and development of the cotton BRS Aroeira. The experiment was carried out in a greenhouse with a factorial scheme $(4 \times 4) + 1$, with four doses of biochar (5, 10, 15 and 20 t.ha⁻¹), four periods of incubation of biochar in the soil (0, 15, 30 and 45 days) and an additional treatment (10 t.ha⁻¹ of lime+20m³.ha⁻¹ of organic compost), in a completely randomized design, with three replications, totaling 51 experimental units. After the processes of incubation of biochar in the soil and application of the leaching layer, there were reductions in pH (18.64%), in electrical conductivity in the exchange complex - CEct (73.82%), in addition to Na⁺_{ct} contents (89.4%) and K⁺_{es}, in relation to the initial values of the soil. Through the contrast, it was noticed that the saturated hydraulic conductivity of the soil (K₀) obtained by the treatments with biochar was 957.14% higher than the average of the additional treatment. As for the biometric variables of cotton, there was a positive influence of the doses of biochar applied in all periods evaluated at the end of the growth phase for: stem diameter, plant height, number of leaves and leaf area, at a dose of 20 t.ha⁻¹. The treatments with the use of biochar provided an average production of cottonseed 10.19% higher than the additional treatment. In general, the use of biochar in the treatment of soil with sodicity problem proved to be efficient, with results equivalent to those of the use with calcium carbonate (additional treatment) in several studied variables.

KEYWORDS: Biochar, BRS Aroeira, *Gossypium hirsutum* L, soil conditioner, biosaline cultivation.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da atividade agrícola como forma de garantir a segurança alimentar aliada com práticas que garantam a preservação dos recursos naturais, atualmente, tem sido motivo de discussões na comunidade científica, se tornando ainda mais necessária nas regiões com maior escassez de recursos financeiros e ambientais.

O Semiárido Brasileiro, que abrange cerca de 90% da região Nordeste, apresenta chuvas intercaladas com períodos de seca, distribuídas de forma irregular, fato que provoca um déficit de umidade no solo durante a maior parte do ano, o que torna imprescindível o emprego de técnicas de irrigação para viabilizar a atividade agrícola (MIRANDA et al., 2011). No entanto, a irrigação quando empregada de forma ineficiente e aliada ao manejo inadequado do solo, baixa qualidade da água, ausência de drenagem e ao uso excessivo de fertilizantes promove um aumento da quantidade de sais no solo - salinização -, favorecendo a sua degradação e tornando-o inapto para a agricultura (AZEVEDO et al., 2017).

Quando o solo apresenta salinidade elevada, ou seja, condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) superior a 4 dS.m^{-1} , e o sódio é o íon predominante - sodicidade -, dependendo da cultura, causa toxidez nas plantas, dispersão das argilas, desestruturação do solo, redução da taxa de infiltração de água e, conseqüentemente, a redução da produtividade ao longo do tempo (TAVARES FILHO et al., 2012).

Desse modo, é imprescindível implementar uma técnica de recuperação de solo sódico na área, sendo o uso de melhoradores químicos combinado com posterior aplicação de lâmina de lixiviação dos sais a mais usual (RIBEIRO et al., 2010). Nesta técnica, o calcário e o gesso são os produtos mais utilizados como melhoradores químicos, no entanto, a busca por novos produtos, em especial, os considerados “alternativos se tornaram objetivo de diversos pesquisadores, apresentando bons resultados, tais como: os adubos orgânicos, os resíduos da construção civil e os resíduos agroindustriais (SANTOS et al., 2014; MIRANDA et al., 2011).

Neste cenário, o biocarvão surge como um melhorador químico para recuperação de solos degradados por sais. Trata-se de um material obtido através do processo de pirólise de biomassa, rico em carbono, que tem a capacidade de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. É uma forma ambientalmente adequada para aproveitamento de resíduos não só por prevenir que grandes quantidades de gás carbônico

sejam liberadas para a atmosfera, mas também porque, quando aplicado ao solo, aumenta a sua quantidade de matéria orgânica (BATISTA et al., 2018; GLASER et al., 2001).

Esse material é capaz de aumentar a porosidade total, a capacidade de retenção de água, o teor de carbono orgânico e de nutrientes do solo, tornando-o mais estável e possibilitando o deslocamento do sódio aderido às partículas para a solução, características que favorecem o processo de recuperação dos solos afetados por sais (ZHENG et al., 2018).

O processo de recuperação possibilita a retomada da produção agrícola de áreas antes abandonadas, ou ainda o aumento da produtividade de áreas em degradação. Aliado a isso, a implantação de uma cultura rentável na área a ser recuperada torna-se um fator fundamental na viabilização do processo de recuperação. Nessa perspectiva (QURESH & DABA, 2020) recomenda-se o uso de condicionadores de solo associado a adoção do cultivo bioassalino.

A agricultura bioassalina é apresentada por Masters et. al (2007), como aquela praticada sob níveis elevados de salinidade nas águas subterrâneas, nos solos ou em ambos. Nesse contexto, o algodoeiro é uma excelente alternativa, pelas suas características de adaptação às condições do Semiárido Nordeste e importância econômica, com uma diversidade de produtos para distintas finalidades, além de ser uma cultura considerada tolerante à salinidade (ZONTA et al., 2016; RIBEIRO et al., 2010).

Portanto, diante o exposto, torna-se imprescindível estudos que busquem alternativas para a recuperação de solos afetados por sais, tornando as áreas comprometidas com essa problemática viáveis para o desenvolvimento agrícola e a geração de renda.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da adubação com biocarvão, produzido a partir da biomassa de coco, em distintos períodos de incubação, em solo sódico oriundo do perímetro irrigado de São Gonçalo – PB, com cultivo bioassalino da cultivar de algodão BRS Aroeira.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da adubação com biocarvão em distintos períodos de incubação sobre o deslocamento de sais no solo através da análise do lixiviado (pH, condutividade elétrica – CE -, K^+ , Na^+ e Ca^{2+});
- Determinar o efeito das doses de biocarvão e dos períodos de incubação nas propriedades referentes à salinidade (pH, CE, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), física (densidade do solo) e hidrodinâmica (K_0) do solo;
- Monitorar o crescimento (altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar e fitomassa fresca e seca de raízes e partes aéreas) e desenvolvimento (surgimento do primeiro botão floral, da primeira flor e abertura do primeiro capulho) do algodoeiro BRS Aroeira sob doses de biocarvão e períodos distintos de incubação;
- Quantificar a produção do algodoeiro BRS Aroeira sob doses de biocarvão e períodos distintos de incubação;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Degradação do solo pela salinização

O processo de salinização dos solos é um fenômeno observado, especialmente, em regiões em condições de aridez, caracterizadas por apresentar elevadas taxas de evapotranspiração associadas aos índices irregulares de precipitação. Além disso, as características do material de origem do solo, as condições geomorfológicas e hidrológicas são fatores que favorecem a formação natural de solos salinos (salinização primária). As causas antropogênicas dão origem ao processo denominado de salinização secundária (BRESLER, 2012). As formas mais comuns são: práticas inadequadas de irrigação, uso de água rica em sais solúveis para irrigar, controle inadequado da drenagem, uso intensivo de fertilizantes e de águas residuais ou produtos salinos de origem industrial (GONÇALVES et al., 2015).

Quanto à sodicidade, trata-se do efeito relativo do sódio da água de irrigação tendendo a elevar a percentagem de sódio trocável no solo (PST), causando danos às suas propriedades físico-químicas, provocando problemas de infiltração (HOLANDA et al., 2010). Nestes solos, o sódio passa a representar altas proporções no complexo de troca, em que os coloides dispersos são movimentados no perfil, obstruindo poros em horizontes subsuperficiais e, assim, alterando a estrutura (RUIZ et al., 2006; QADIR et al., 2007; DIAS & BLANCO, 2010).

Estudos apontam que, no mundo, mais de 77 milhões de hectares de áreas agricultáveis apresentam problemas de salinidade, dos quais aproximadamente 43 milhões estão em processo de salinização devido às ações antropogênicas (ABBAS, et al., 2013). No Brasil, esse problema é mais visível na região Nordeste, mais especificamente, nos perímetros irrigados encontrados no polígono das secas, onde aproximadamente 52% da superfície é semiárida (RIBEIRO et al., 2010). A criação dos perímetros irrigados aumentou a produção e a produtividade na região semiárida, mas, em decorrência do manejo inadequado, muitas dessas áreas foram abandonadas e submetidas ao processo de desertificação por causa da salinidade.

As elevadas condutividades elétricas (CE) do solo provocam redução dos potenciais osmótico (ψ_s) e hídrico do solo (ψ_w), afetando o desenvolvimento da maioria das plantas pela diminuição da absorção de água e de nutrientes pelas raízes e desequilíbrio nutricional. Diante disso, o monitoramento da CE do solo em sistemas de produção permite de forma simples e eficiente a adoção de medidas que evitam a

ocorrência de salinização e prejuízos na produção das plantas cultivadas (DE QUEIROZ et al., 2009; MAJOR & SALES, 2012).

Os solos salinos apresentam CE_{es} superiores a 4 mS.cm^{-1} , pH inferior a 8,5 e alta concentração de sais solúveis, constituídos pelos íons K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- e SO_4^{2-} , entretanto, os teores de Na^+ são relativamente baixos, proporcionando uma PST menor do que 15% (RICHARDS, 1954). Devido à deficiência de quantidades expressivas de sódio no complexo de troca, os solos salinos via de regra são floclulados com permeabilidade igual ou superior à dos seus similares não salinos (RIBEIRO et al., 2010).

Já os solos sódicos possuem PST superior a 15%, pH elevado, variando entre 8,5 e 10,0; entretanto, com baixos teores de sais solúveis e a sua melhoria poderá acontecer com o emprego de condicionadores e/ou subsolagem. A percolação da água é muito baixa, e o controle da salinidade se faz essencial (ARAÚJO et al., 2017).

Os principais parâmetros físico-hídricos dos solos, tais como estrutura, estabilidade de agregados, dispersão de partículas, condutividade hidráulica e infiltração de água, são fortemente prejudicados pelo alto teor de sódio trocável, o que os torna adensados, compactados em condições de seca e dispersos e pegajosos em situações molhadas (RIBEIRO et al., 2010; DIAS & BLANCO, 2010).

3.2 Técnicas de recuperação de solos afetados por sais

3.2.1 Lixiviação do excesso de sais

A lixiviação ocorre através da aplicação de uma lâmina de água de boa qualidade capaz de solubilizar e transportar o excesso de sais presentes na solução do solo, podendo ser aliada à implantação de um sistema de drenagem para remover os sais lixiviados da área, quando a drenagem natural for insuficiente. Feito isso, haverá uma redução na concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo para um nível em que as culturas possam ter um bom crescimento, desenvolvimento e produção (ARAÚJO et al., 2017).

3.2.2 Uso de condicionadores de solo

A correção do excesso de sódio utilizada nos casos de solos salino-sódicos e sódicos deve ser feita por meio de corretivos conhecidos como “condicionadores”, os quais atuarão no deslocamento do sódio presente no complexo de troca devido o fornecimento de cátions presentes, entre eles o Ca^{2+} (RECARE, 2018).

Entre os corretivos químicos, o gesso agrícola é o mais utilizado, sobretudo pela sua fácil aquisição no mercado, ao seu baixo custo e a sua fácil aplicação quando comparada com outros (TAVARES FILHO et al., 2012; SANTOS et al., 2014). O gesso, após solubilizado, dispõe cálcio ao solo através de reação de simples troca com o sódio do complexo sortivo, o qual vai para a solução do solo a fim de ser lixiviado (GHEYI et al., 2008; CAVALCANTE et al., 2010). Uma grande vantagem no uso do gesso agrícola é a sua ação nas camadas mais profundas do solo. Outros condicionadores utilizados são o calcário, o ácido sulfúrico, o enxofre elementar e fontes de matéria orgânica.

3.2.3 Fitorremediação

A fitorremediação é uma estratégia eficiente que apresenta resultados semelhantes à utilização de corretivos químicos (QADIR et al., 2007). Trata-se da utilização de plantas no processo de remediação. A fitoextração, processo contemplado pela fitorremediação, utiliza plantas halófitas, adaptadas as condições de altos níveis de salinidade do solo e que possui a capacidade de acumular quantidades elevadas de sais em seus tecidos (ZHU, 2001).

Dessa forma, são capazes de extrair os cátions e ânions em excesso na solução do solo e transportá-los para a parte aérea, um método ambientalmente sustentável (LEAL et al., 2008). No entanto, para que a fitorremediação seja eficiente, é necessário não apenas utilizar espécies que sejam hiperacumuladoras de sais como também hiperprodutoras de biomassa (ARAÚJO et al., 2017).

3.2.4 Fontes orgânicas

Diversos adubos de origem orgânica são caracterizados por conter vários nutrientes que podem ser disponibilizados às plantas, tais como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes, embora em concentrações inferiores às dos inorgânicos, mas que podem contribuir bastante para a nutrição vegetal (MIRANDA et al., 2011). Os condicionadores orgânicos, tais como esterco de curral, casca de arroz e vinhaça, também podem ajudar na redução da PST devido, possivelmente, à liberação de CO₂ e ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica, além de atuarem de forma expressiva na relação cálcio+magnésio/sódio (FREIRE & FREIRE, 2007). Nesse viés, Freire & Freire (2007) e Miranda et al. (2011) observaram que tais condicionadores colaboram para a redução da salinidade e sodicidade dos solos.

Outrossim, a busca por materiais alternativos para utilização como condicionador de solos salinos-sódicos e sódicos é fundamental, pois, além de atuarem no processo de recuperação de áreas degradadas por sais, também possibilitam o aproveitamento de resíduos agroindustriais, dando uma destinação adequada a eles. Miranda et al. (2011) evidenciaram que as propriedades físico-hídricas de um Neossolo Fúlvico salino-sódico foram melhoradas com o uso de esterco, gesso e polímeros aniômicos à base de poliácridamida e Santos et al. (2014) constataram eficácia na aplicação de resíduos de gesso da construção civil para lixiviação de sais e sódio solúvel em solo salino-sódico.

3.3 Uso do biocarvão e suas contribuições nas características dos solos afetados por sais

Os resíduos orgânicos pirolisados estão sendo cada vez mais utilizados na agricultura, objetivando a melhoria nas condições do solo. O biocarvão termo traduzido do inglês “*biochar*”, pode ser definido como um produto com alto teor de carbono estável – 30% a 70% -, originado a partir de materiais biológicos submetidos as elevadas temperaturas e condições hipóxicas ou anóxicas (HONG, 2020), cuja principal função é melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos agrícolas.

Sendo esse produto obtido pela “pirólise”, processo pelo qual a temperatura pode chegar até 1000°C, a água é evaporada e a biomassa convertida no biocarvão em decorrência da alta estabilidade e recalcitrância do carbono. Segundo Araújo et al. (2017), se constitui em uma alternativa importante para a destinação de resíduos orgânicos, contribuindo para diminuir a emissão de gases provocadores do efeito estufa.

Seus efeitos no solo estão diretamente relacionados ao tipo de biomassa utilizado bem como ao processo de pirólise propriamente dito – tipo, temperatura máxima, tempo de queima e nível de oxigênio. Esses fatores, em conjunto, irão atuar nas propriedades físicas e químicas dos biocarvões (ZHANG et al., 2016). As condições de pirólise também podem influenciar na estabilidade dos biocarvões a longo prazo e na sua capacidade de retenção de água e nutrientes quando aplicados ao solo como fonte de matéria orgânica (SUN et al., 2012).

A temperatura é o mais importante fator na determinação das características do biocarvão. De acordo com Rafiq et al. (2016), os biocarvões produzidos em baixas temperaturas apresentam composição química semelhante à da biomassa que lhe deu

origem, enquanto que, as altas temperaturas, as propriedades físicas e químicas do produto final serão bem diferentes daquelas da matéria-prima.

Dentre os materiais que podem ser utilizados como matéria-prima na obtenção de biocarvões, o uso de biomassa de coco verde se mostra uma opção bastante viável devido ao baixo custo e por ser disponível em diversas regiões do globo. Geralmente, esse material é descartado no meio ambiente de forma inadequada, mas, submetido ao processo de reciclagem, pode, além de se tornar uma alternativa economicamente viável, contribuir para a sustentabilidade ambiental. Segundo Devens et al. (2018), em torno de 80% a 85% do peso bruto do coco verde torna-se resíduo, levando cerca de oito anos para a sua completa decomposição.

A incorporação ao solo de biocarvão oriundo da biomassa de coco verde promove melhoria nas suas propriedades químicas, dentre as quais podemos destacar a capacidade de retenção e liberação de nutrientes, característica relacionada à presença de grupos funcionais oxigenados que são responsáveis pela existência de sítios de troca, bem como a capacidade de armazenamento de nutrientes a longo prazo (COOPER et al., 2020; MANGRICH et al., 2011). Além disso, esse biocarvão ajusta o pH do solo a um nível que deixa a acidez, o alumínio e os metais pesados num patamar perfeitamente suportável pelas raízes das plantas (VAN ZWIETEN et al., 2010). Ainda por cima, aumenta o teor de matéria orgânica do solo, reduz a produção de gases promotores do efeito estufa e de odores desagradáveis, sequestra CO₂ e aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) do complexo sortivo.

Em relação às características físico-hídricas do solo, esse biocarvão melhora a estrutura por possuir muitas cargas superficiais, a consistência e a porosidade devido à sua área superficial, que pode chegar a 400 m²·g⁻¹, nível considerado excelente e que pode ser comparável ao da argila montmorilonita (BATISTA et al., 2018; PETTER & MADARI, 2012).

A atividade do biocarvão da biomassa de coco verde no solo, melhora a sua estrutura, resultando em um aumento na sua capacidade de retenção de água, propriedade que está entre as mais importantes do ponto de vista agrônomo, especialmente, em regiões onde a frequência de chuvas é irregular, como é o caso do nosso semiárido. Conforme Song et al. (2014), quanto maior a quantidade de microporos em um solo, maior será a sua capacidade de retenção de água e nutrientes, o que terá reflexos diretos na produtividade das plantas cultivadas.

A melhoria das propriedades físicas de um solo proporciona, também, benefícios nas suas propriedades químicas e biológicas. O aperfeiçoamento da estrutura propiciado pelo biocarvão, que deixa o solo mais poroso, criará, como consequência, um ambiente favorável ao desenvolvimento de microrganismos benéficos, como as bactérias diazotróficas – responsáveis por fixar o nitrogênio atmosférico e disponibilizá-lo às plantas – e os fungos micorrízicos arbusculares, que ajudam a aumentar a superfície de absorção de água e nutrientes, especialmente, o fósforo e os micronutrientes (PIETIKÄINEN et al., 2000). Dessa forma, espera-se maior produção das plantas e melhor qualidade do produto colhido.

Chaganti et al. (2015), estudando a incubação em laboratório e posterior aplicação de lâmina de lixiviação, em experimento conduzido em colunas de solo, mostraram que o biocarvão melhorou a agregação e aumentou a condutividade hidráulica saturada de um solo salino-sódico, sobretudo, através do fornecimento de cálcio. Além de melhorias na eficiência do uso da água – EUA -, o biocarvão, quando aplicado ao solo, reduz as perdas de nutrientes por lixiviação (MANGRICH et al. 2011) e, com isso, os riscos de contaminação dos mananciais (CAO et al., 2009).

Os efeitos do biocarvão nas propriedades físicas e químicas de solos afetados por sais variam de acordo com o tipo de solo, a matéria-prima utilizada no processo de pirólise, a taxa e o tempo de interação do biocarvão com as partículas edáficas (AMINI et al., 2016; CHAGANTI et al., 2015). Por exemplo, a adição de biocarvão diminuiu consideravelmente a dispersão das argilas com a sua consequente desagregação e a taxa de infiltração em um solo areno-argilosos, enquanto que, no solo calcário, não produziu qualquer efeito (ABROL et al., 2016).

Neste sentido, diversos estudos estão sendo realizados a fim de se investigar o potencial do biocarvão na recuperação de solos salinos. Usman et al. (2016), utilizando biocarvão no cultivo de tomate sob solo arenoso afetado por sais, observaram efeito positivo do biocarvão, considerando-o como promissor instrumento para melhorar as características químicas, físicas e biológicas e, com isso, o rendimento e a qualidade dos produtos obtidos.

Conforme Yue et al. (2014; 2016), a incorporação de biocarvão proveniente de diferentes matérias primas - madeira, palha de arroz, palha de girassol e estrume de vaca - em solos afetados por sais, favoreceu a lixiviação de cátions e ânions, possivelmente

devido ao aumento da permeabilidade do solo, sendo necessário menos tempo para reduzir a salinidade a um nível adequado aos cultivos.

De acordo com Ali et al., (2017), a aplicação de biocarvão diminuiu a captação de íons Na^+ ao mesmo tempo em que aumentou a absorção de K^+ pelas raízes das plantas cultivadas em solos salinos. Ademais, foi identificado que esse condicionador permitiu aumento no crescimento e na biomassa das plantas, parâmetros que, de acordo com Yan et al. (2015), são bastante afetados pela salinidade do solo.

3.5 A cultura do Algodoeiro

O algodoeiro é uma planta autógama pertencente ao gênero *Gossypium* e à família Malvaceae. Essa família possui cerca de 50 espécies registradas, entretanto, apenas quatro têm importância agrônômica: *G. herbaceum*, *G. arboreum*, *G. barbadense* e *G. hirsutum*, que são as que produzem plumas com características requeridas pela indústria têxtil (BORÉM & FREIRE, 2014).

A grande maioria das espécies são cultivadas nas regiões tropicais e subtropicais, de baixas latitudes, necessitando de altas temperaturas e baixas umidades relativas do ar – UR - para poder proporcionar elevadas produtividades e fibras de boa qualidade. Nesse contexto, quando submetido a temperaturas inferiores a 20°C , o algodoeiro reduz o comprimento de sua fibra, bem como outras características tecnológicas também são comprometidas em decorrência da redução do metabolismo celular. Também não deve haver restrição hídrica nas fases de floração, crescimento e desenvolvimento dos frutos. No período de abertura dos capulhos, uma boa intensidade de insolação é extremamente importante (BENDER et al., 2020).

Quanto à nutrição mineral, o algodoeiro é considerado exigente, tendo a seguinte ordem decrescente de absorção de elementos químicos nutrientes: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S} > \text{Fe}$, com requerimento, durante o seu ciclo, de 330, 96, 290, 199, 71 e 28 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, P_2O_5 , K_2O , CaO, MgO e S, respectivamente, para uma produtividade em torno de $5.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de algodão em caroço. Nos primeiros 30 dias após a emergência – DAE - é mais exigente em Mg, S e Fe. Já na fase entre o abotoamento e o máximo florescimento, é mais exigente em N, P, K e Ca (CARVALHO et al., 2011).

A cultura do algodão é a mais importante fonte de fibras naturais para fins têxteis por suas qualidades relacionadas ao conforto, à maciez e à durabilidade (WANG et al., 2018). Sua fibra, com 94% de celulose em sua composição, é a mais consumida no mundo

abastecendo 50% do mercado mundial. Além disso, essa cultura também tem importância nas indústrias alimentícia, zootécnica, cosmética, farmacêutica, celulósica, dentre outras, ou seja, o fruto do algodoeiro tem aproveitamento integral.

De acordo com o ranking do Comitê Consultivo Internacional do Algodão – ICAC (2021) -, o Brasil é responsável pela quarta maior produção de algodão do mundo, com uma cifra de 3.002.092 toneladas de algodão em pluma na safra 2019/2020, com área plantada 1.630.680 hectares e superávit da balança comercial do algodão brasileiro de 2,987 bilhões de dólares. Nesse patamar, a região Centro-Oeste se destaca como a maior produtora, seguida da região Nordeste (ABRAPA, 2021).

No estado da Paraíba, no ano de 2015 um importante passo foi dado para recuperar a posição de destaque da cultura. Através da criação do projeto “Algodão Paraíba”, iniciativa do governo do estado que tem por objetivo dar protagonismo ao agricultor familiar na cadeia produtiva do algodão orgânico, dando assistência técnica e integrando-a à cadeia produtiva da bovinocultura, foi estimado um aumento percentual de 385% de área organicamente plantada com essa ‘*commoditie*’ na safra agrícola de 2019/2020, em relação à safra anterior, além de um aumento de 160 t na colheita (PARAÍBA, 2019).

Um dos fatores que limitam o avanço da produção agrícola é a salinização e/ou sodificação, que, segundo Pedrotti et al. (2015), são processos decorrentes do acúmulo de sais no solo provenientes da água de irrigação e que têm gerado preocupações aos agricultores de todo o mundo, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, onde esse problema tem sido incrementado por causa das condições geológicas predominantes, má distribuição das chuvas, drenagem deficiente e inadequada exploração agrícola nos moldes colonialistas.

Nesse sentido, o algodoeiro é considerado uma planta moderadamente tolerante à salinidade, se sobressaindo como uma das espécies capazes de produzir em concentrações de sais solúveis na solução do solo bem acima da tolerada pela maioria das culturas (TAIZ & ZEIGER, 2009): um limiar de $7,7 \text{ dS.m}^{-1}$ no extrato de saturação e $5,1 \text{ dS.m}^{-1}$ na água (AYERS & WESTCOT, 1999). No entanto, o algodoeiro pode sofrer reduções significativas no desenvolvimento e na produção quando exposto a determinadas condições de salinidade e/ou sodicidade, o que pode variar entre genótipos e estádios de desenvolvimento (JÁCOME et al., 2005).

Os principais mecanismos de respostas do algodoeiro à salinidade acontecem em níveis morfológicos, fisiológicos e bioquímicos. No que diz respeito às respostas

morfológicas, destaca-se a redução da área foliar – superfície transpirante -, como forma de economizar água (ZHANG et al., 2014). Já as respostas fisiológicas estão relacionadas ao ajustamento osmótico, o qual age no potencial osmótico (ψ_s) dentro da célula para torna-lo mais baixo do que àquele do solo e, dessa forma, permitir que o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera seja mantido e as células vegetais continuem túrgidas afim de garantir os processos metabólicos dependentes da água (TAIZ & ZEIGER, 2013; GUPTA & HUANG, 2014). Os efeitos bioquímicos são àqueles relacionados à ativação e/ou aumento da atividade de enzimas antioxidantes, tais como as superóxidos dismutases, as peroxidases e as catalases, as quais agem protegendo as células vegetais das espécies reativas de oxigênio - $O_2\bullet$ (MARCELINO, 2018).

Nesta pesquisa foi utilizada a cultivar de algodoeiro BRS Aroeira, cultivar média a precoce, variando seu ciclo entre 120 e 140 dias nas condições de clima e solo do Nordeste. As plantas apresentam um excelente vigor, altura entre 120 cm e 130 cm, produtividade média de $3.841 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Além disso, apresenta resistência a algumas doenças, tais como ramulose, viroses e mancha de *Stemphylium*, além de tolerância à mancha de ramulária, à alternária e ao complexo fusarium-nematoide (FREIRE et al., 2009).

Além de todas as vantagens listadas, a BRS Aroeira ainda é bastante sugerida para inserção em sistemas de produção de baixo custo, principalmente, no Semiárido Nordestino. Com o uso de adubação orgânica, técnicas de manejo e conservação do solo a exemplo de curvas de nível, aração com tração animal e espaçamento adequado, o pequeno cotonicultor pode alcançar bons resultados de produtividade com essa cultivar, o que contribui para aumentar sua renda e sua qualidade de vida.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta e caracterização do solo

O experimento ocorreu em ambiente protegido do tipo casa de vegetação, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UA EA - da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, situada no município de Campina Grande - PB, cujas coordenadas geográficas são: 7°13'S de latitude, 35°53' W de longitude e altitude de 500 m acima do nível do mar (OLIVEIRA et al., 2013).

Baseado na classificação de Köppen, o clima de Campina Grande é do tipo AWi caracterizado como tropical, com precipitação em torno de 802,7 mm. Conforme Furtado et al. (2010), a temperatura anual do ar varia em torno de 23,3 °C, com máxima de 30,9 °C e mínima de 18,4 °C. Já a umidade relativa do ar – UR - entre 75 e 83%.

O solo utilizado no experimento veio de uma área com histórico de produção de coqueiro irrigado por longo período e de problemas de salinidade, e tornou-se, com o tempo, imprópria para a agricultura, sendo então abandonada. A área citada é localizada na porção semiárida do Estado da Paraíba, no distrito irrigado de São Gonçalo, localizado a 6°45' S de latitude, 38°13' W de longitude e altitude de 233 m, no município de Sousa – PB. Segundo a classificação de Köppen, o clima da localidade é do tipo BSh, isto é, semiárido quente. A temperatura média anual é de 27,8°C e a média anual de precipitação de 894 mm, concentrada nos meses de janeiro a maio. A UR é de 58% e a velocidade média do vento de 2,5 m/s. O relevo apresenta-se plano e suavemente ondulado, com solos do tipo Neossolos Flúvicos e altitude média de 235m acima do nível do mar (DOS SANTOS et al., 2018).

Para a caracterização do solo foram coletadas amostras da camada de 0-30 cm de profundidade e encaminhadas para análise no Laboratório de Irrigação e Salinidade – LIS - da UFCG, seguindo metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). Os resultados das características físicas, químicas e de salinidade estão na tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos, químicos e de salinidade do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos Físicos								
Areia	Silte	Argila	Argila dispersa	Grau de flocculação	Ds ¹	Dp ²	Pt ³	Classe textural
g.kg ⁻¹			kg.dm ⁻³			%		
676	254	70	13	814	1,40	2,65	47	Franco Arenosa
Umidade								
0,010	0,030	0,10	0,30	0,50	1,00	1,50		
Mpa								
g.kg ⁻¹								
117	68	46	39	35	33	31		
Atributos Químicos								
CE 1:2,5	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ⁺	H ⁺ + Al ⁺
(dS. ⁻¹)	H ₂ O	mg.100g ⁻¹	(cmolc.kg ⁻¹)					
0,68	10,16	3,55	0,24	1,85	0,25	6,39	0,00	0,00
S	CTC ⁴	CO	MO ⁵	N				
(cmolc.dm ⁻³)	(g.kg ⁻¹)		%					
8,73	8,73	3,90	6,70	0,04				
Atributos Salinos								
CE	pH _{es}	SO ₄ ⁻²	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
(dS.m ⁻¹)	mmolc.L ⁻¹							
1,72	9,91	ausência	2,88	0,37	10,96	2,90	0,00	9,00
Cl ⁻	RAS ⁶	PST ⁷	Salinidade	Classe do solo				
mmolc.L ⁻¹	%							
6,00	8,60	73,19	Não salino	Sódico				

1 – Densidade do solo; 2 – Densidade da partícula; 3 – Porosidade total; 4 – Capacidade de troca catiônica; 5 – Matéria orgânica; 6 – razão de adsorção de sódio; 7 – porcentagem de sódio trocável

Trata-se de um solo sódico com valores elevados de pH (10,16) e Porcentagem de Sódio Trocável - PST (73,19%) além de possuir baixa condutividade elétrica do extrato de saturação - CE_{es} (1,72 dS.m⁻¹) e o sódio como elemento de maior concentração entre os cátions do complexo de troca (6,39 cmolc.kg⁻¹), características comuns nesse tipo de solo.

4.2 Produção e caracterização do biocarvão

Para a obtenção do biocarvão utilizou-se como matéria prima a biomassa de coco, seca e triturada (Figura 1a), do comércio local. O processo de transformação se deu através da pirólise, no qual a biomassa de coco passou pelo forno do tipo mufla em uma temperatura de 350°C, na ausência de oxigênio, permanecendo nestas condições por um período de duas horas, tempo estimado através de testes para chegar em 100% de carbonização do material, sem perdas por formação de cinzas (Figura 1b). Após o processo de carbonização, o biocarvão foi triturado e homogeneizado para garantir melhor uniformidade na distribuição ao solo (Figura 1c). Todo o processo se deu no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas – LAPPA - pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UAEEA - da UFCG, Campus I, Campina Grande – PB.

A



B



C.



Figura 1. Processo de conversão da biomassa triturada de frutos de coco verde (a) em biocarvão bruto (b) e homogeneização (c) em laboratório.

Após o processo de produção do biocarvão encaminhou-se uma amostra ao Laboratório de Caracterização de Materiais – LCM - da UFCG, para determinar a composição elementar pelo método da espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDX), além do pH e condutividade elétrica com a proporção de 1g de biocarvão para 20ml de água destilada (Rajkovich et. al, 2012), conforme a tabela 3.

Tabela 2. Características químicas do biocarvão de biomassa de coco.

K	Na	Cl	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	outros
%							
46,62	18,86	10,57	4,78	5,03	3,27	2,22	5,19
pH	CE						
dS.m ⁻¹							
6,30	3,00						

4.3 Instalação e condução do experimento

O experimento se desenvolveu em delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial (4 x 4) + 1, constituído por quatro doses de biocarvão, material produzido a partir da biomassa de coco: 5,0; 10,0; 15,0 e 20,0 t.ha⁻¹ (D5, D10, D15 e D20, respectivamente), e quatro períodos de incubação do material no solo: 0, 15, 30 e 45 dias (INC0, INC15, INC30 E INC45, respectivamente), além de um tratamento adicional com uso de 10 t.ha⁻¹ de calcário, acrescido de 20 m³.ha⁻¹ de composto orgânico, que é o recomendado para a cultura do algodoeiro, com três repetições, totalizando 51 unidades experimentais.

Para a definição das doses de biocarvão, inicialmente, por se tratar de um produto que não possui recomendação técnica para aplicação no solo como condicionador determinou-se a quantidade de carbonato de cálcio que seria necessária para reduzir a PST do solo a 7%, através da equação proposta por Pizarro (1978) a seguir:

$$Dp = \frac{(PST_f - PST_i) \times CTC \times P_{eq} \times h \times Ds}{100} \times C \quad \text{Eq.1}$$

Em que:

- Dp - Dose prática do corretivo (kg.ha⁻¹);
- (PST_f - PST_i) - Diferença entre a percentagem desejável de sódio trocável inicial e final, isto é, a PST que se deseja que o solo atinja - 7%;
- P_{eq} - Peso equivalente do elemento ou composto usado como corretivo;
- h - Profundidade do solo a ser recuperado (cm);
- Ds - Densidade do solo (g.cm⁻³);
- C - Coeficiente de correção (1,25 para o calcário).

De posse do valor para o uso do carbonato de cálcio, 10 t.ha^{-1} , ele passou a ser referência na definição das doses de biocarvão a serem aplicadas ao solo, com os níveis correspondentes a 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes a quantidade de carbonato de cálcio.

O composto orgânico utilizado no tratamento adicional foi produzido no Laboratório de Tecnologias Agroambientais – LTA da UFCG, responsável pela coleta e reaproveitamento de resíduos do Campus. E encaminhado ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa para caracterização química, os resultados estão apresentados na tabela 2.

Tabela 3. Características químicas de composto orgânico utilizado no experimento.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
dag.kg ⁻¹					
0,74	0,19	0,43	2,37	0,67	0,20

Para a incubação do biocarvão no solo e posterior condução das plantas, foram utilizados vasos plásticos cilíndricos com capacidade de 14 dm^3 , preenchidos com 1 kg de brita Nº 0 em sua base, para favorecer a drenagem. Na sequência foram colocados 15 kg de solo, e os tratamentos (doses de biocarvão) aplicados e uniformizados nos primeiros 20 cm de profundidade em cada época estabelecida.

Após a incorporação do material, adicionou-se água até que o solo atingisse cerca de 80% da capacidade de campo – Cc (2 litros), quantidade obtida a partir da análise da umidade na capacidade de campo em vaso, contendo o solo natural utilizado no estudo. Posteriormente, os vasos foram cobertos com plástico para manutenção da umidade durante todo o período de incubação de cada tratamento.

Em cada unidade experimental, foi feito um furo em sua base para permitir a drenagem do excesso de água. Nesse furo, se instalou um microtubo de 1 cm de diâmetro que conectou o vaso à boca de uma garrafa plástica com capacidade para 2 L (Figura 2a). Os vasos foram dispostos em fileiras simples, espaçadas entre si em 1,5 m, sendo que, dentro de cada fileira, as plantas foram espaçadas em 1,0 m (Figura 2b).

A.



B.



Figura 2. Unidade experimental utilizada para incubação do solo com biocarvão (a) e cultivo do algodoeiro BRS Aroeira (b).

Após o período de incubação referente a cada tratamento, deu-se início ao processo de lixiviação do solo, para aplicação de uma lâmina de água correspondente a duas vezes o volume dos poros com a finalidade de lixiviação do solo (MELO et al, 2008), conforme as figuras 3a e 3b, sendo coletados os volumes drenados para análises posteriores. O volume de poros foi alcançado através de teste no qual se inseriu solo em um vaso a parte, de mesmo volume e com a mesma quantidade de solo utilizada nas unidades experimentais adicionando-se água até promover a drenagem e se chegar ao volume de poros pela diferença entre a quantidade de água fornecida e drenada.

A.



B.



Figura 3. Processo de lixiviação do solo após a incubação com biocarvão.

Em março de 2020 (Figura 4a) após ser finalizado o processo de lixiviação do solo, passaramos dois dias, semeou-se 10 sementes da cultivar de algodoeiro BRS Aroeira por vaso. O primeiro desbaste ocorreu 15 dias após a emergência (DAE), deixando-se duas plantas, as quais foram conduzidas até os 45 dias após a semeadura (DAS), quando se fez o último desbaste, escolhendo-se então a planta mais vigorosa (Figura 4b), conduzida até o final do experimento (agosto de 2020).

A.



B.



Figura 4. Semeio do algodoeiro BRS Aroeira (a) e planta após o último desbaste (b) conduzida até o fim do experimento.

Realizou-se a adubação NPK conforme recomendação para a cultura do algodoeiro, de acordo com a análise do solo, com aplicação de 90, 40 e 10 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. Como fonte de N utilizou-se o SAM - sulfato de amônio -, o qual contém 20% de N e 22% de S parcelando-se as doses da seguinte forma: 1/3 por ocasião do plantio, 1/3 após o desbaste e os outros 1/3 restantes aos 45 dias após o desbaste (DAB). Como fonte de P utilizou-se o SSP – superfosfato simples -, o qual contém 18% de P₂O₅, aplicado todo por ocasião do plantio. Como fonte de K utilizou-se o KCl – cloreto de potássio -, que contém 60% de K₂O, aplicado 1/2 por ocasião do plantio e os outros 1/2 restantes, aos 45 DAS.

As irrigações foram feitas aplicando-se em cada vaso, de forma manual, um volume de água estimado conforme a Eq. 1.

$$VI = ET_0 \times A \times N_d \times K_c \times 1000 \quad \text{Eq.2}$$

Em que:

VI - Volume da irrigação (mL);

ET₀ - Evapotranspiração de referência acumulada no período sem irrigação (mm);

A - área do vaso (m²);

N_d - número de dias sem irrigação;

K_c - coeficiente de cultivo do algodão.

Foram utilizados os coeficientes de cultivo de 0,5; 0,8; 1,2 e 0,9, respectivamente, nas fases I, II, III e IV da cultura, conforme indica Bezerra et al. (2014). Os dados de evapotranspiração de referência foram conseguidos através do portal SISDAGRO do Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet, originados de uma estação meteorológica automática situada no município de Campina Grande.

Com o objetivo de evitar o acúmulo de sais no perfil do solo, a cada 10 dias foram aplicadas frações de lixiviação de 20%, conforme recomenda Ayers & Westcot (1999). A irrigação foi suspensa quando 50% dos capulhos estavam abertos, aos 127 DAS, sendo utilizado um volume total de 785mm de água durante todo o ciclo da cultura, oriunda do sistema de captação de chuvas da casa de vegetação.

4.8 Variáveis Analisadas

O efeito do biocarvão sobre a recuperação do solo sódico foi mensurado através das propriedades químicas do lixiviado, das propriedades químicas e físicas do solo e das variáveis relacionadas ao crescimento e à produção da cv. BRS Aroeira de algodoeiro.

4.8.1 Análise química do lixiviado coletado

O lixiviado coletado de cada vaso após cessada a drenagem no processo de lavagem do solo foi encaminhado ao laboratório para determinação de pH, CE, além dos teores de Na⁺ e K⁺. O Na⁺ e o K⁺ determinados por fotometria de chama (TEIXEIRA et al., 2017).

4.8.2 Análise do solo após incubação e aplicação da lâmina de água

Para a caracterização da salinidade do solo após o período de incubação e da aplicação da lâmina de água, o lixiviado passou por análise. Para tal fim, coletou-se 17 amostras, compostas pelas 3 repetições de cada tratamento. Delas preparou-se a pasta saturada, seguindo a metodologia descrita por Richards (1954). Nessa pasta, determinou-se a CE – condutividade elétrica – seguindo a metodologia descrita no Manual de Análises

de Solos da Embrapa (TEIXEIRA et al, 2017), os íons solúveis: Na⁺ e K⁺. Também foram determinados o pH, a CE e os teores de Na⁺ e K⁺ do complexo de troca do solo.

Coletou-se ainda, amostras de solo indeformadas através de cilindros de 7 cm de diâmetro por 7 cm de altura, nas quais foram determinadas a densidade (Ds), através da relação entre o peso do solo seco em estufa e o volume do corpo de prova, e a condutividade hidráulica saturada (K₀), pelo método do permeâmetro de carga constante. De posse dos valores de K₀, foi feita a classificação de acordo com as classes propostas por Millar (1988), conforme a tabela 4.

Tabela 4. Classificação de valores de condutividade hidráulica.

Classe	Condutividade hidráulica – K ₀
	cm.h ⁻¹
Muito lenta	< 0,1
Lenta	0,1 – 0,5
Moderadamente lenta	0,5 – 2
Moderada	2 - 6
Moderadamente rápida	6 - 12
Rápida	12 - 18
Muito rápida	> 18

Fonte: Millar (1988).

4.8.3 Variáveis relacionadas ao cultivo bioassalino das plantas de algodoeiro

a) Variáveis de crescimento e desenvolvimento da cultura

Durante o experimento, as seguintes variáveis relacionadas ao crescimento do algodoeiro BRS Aroeira foram avaliadas: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF), aos 30, 60 e 90 DAS.

A AP foi medida desde o colo entre caule e raiz até o ápice com uma régua graduada, o DC por paquímetro digital, a dois centímetros acima do nível do solo, na contagem das folhas para a determinação do NF, considerou-se apenas àquelas que apresentaram comprimento superior a 2 cm e que tinham mais de 50% de sua área em atividade fotossintética plena.

Na estimativa da AF, considerou-se apenas as folhas utilizadas na determinação do NF, e mediu-se o comprimento, em cm, da nervura principal. De posse desse valor, a área foliar foi obtida através da equação 5, desenvolvida por Grimes & Carter (1969):

$$Y = 0,4322x^{2,3002} \quad \text{Eq.5}$$

Em que:

Y = área foliar (cm^2); e

x = comprimento da nervura principal (cm).

Para a determinação das variáveis relacionadas ao desenvolvimento do algodoeiro, foram anotadas as datas do início dos seguintes eventos morfofisiológicos: surgimento do primeiro botão, aparecimento da primeira flor e abertura do primeiro capulho.

b) Produção de fitomassa

Para a produção de fitomassa, as plantas foram individualmente, separadas em caules, folhas e raízes. Após esse procedimento, foram postas em sacos de papel e encaminhadas para secar em estufa de circulação de ar a $65\text{ }^\circ\text{C}$, até atingir massa constante, posteriormente, todo o material passou por pesagem em balança de precisão de $0,0001\text{ g}$, obtendo-se: fitomassa seca das folhas - FSF -, do caule - FSC - e das raízes - FSR, cujo somatório resultou na fitomassa da parte aérea - FSPA. Durante o experimento houve coleta de folhas que caíam por abscisão, para incorporação na matéria seca da respectiva planta.

c) Componentes de produção

As variáveis relacionadas à produção foram: produção de algodão em caroço por planta, peso médio de capulhos por planta, produção média de algodão em pluma e o peso de 100 sementes. O peso médio de capulhos por planta se deu pela relação entre o peso de todos os capulhos colhidos em uma determinada planta e o seu número de capulhos. Determinou-se a percentagem de fibras pela relação entre o peso total de plumas por planta após o beneficiamento, e o peso total de algodão em caroço por planta. A produção de algodão em caroço foi determinada por planta, por fim, a produção média de algodão em pluma feita pelo produto entre a percentagem de fibras e a produção de algodão em caroço.

4.9 Análise estatística

Os dados passaram por análises de variância – ANOVA -, a 5% de probabilidade, e regressão, utilizando-se o software R, conforme proposto por Chambers (2008), além do contraste entre as médias dos tratamentos do fatorial e a média do tratamento adicional. Previamente à ANOVA, realizou-se a verificação da normalidade dos resíduos e da homogeneidade das variâncias através dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett,

respectivamente, de forma a atender os requisitos da ANOVA. Na análise de regressão, o modelo escolhido foi aquele que, entre os que apresentarem significância a 1% de probabilidade, tiveram maior grau e maior coeficiente de regressão (R^2).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros de salinidade do solo

O potencial hidrogeniônico – pH - do solo foi reduzido em todos os tratamentos estudados, tanto no complexo de troca (Figura 5a) quanto no extrato de saturação do solo (Figura 5b). O maior percentual de redução, em relação ao valor inicial, observado para o extrato de saturação no tratamento D15 com Inc15 (18,64%), enquanto que, no complexo de troca, a maior redução ocorreu com a D10 e Inc30 (18,57%). De modo geral, o biocarvão proporcionou maior redução do pH do que o tratamento adicional utilizando o carbonato de cálcio na dosagem recomendada. Percebeu-se-se ainda, valores aproximados de pH dos lixiviados em todos os tratamentos (Figura 5c).

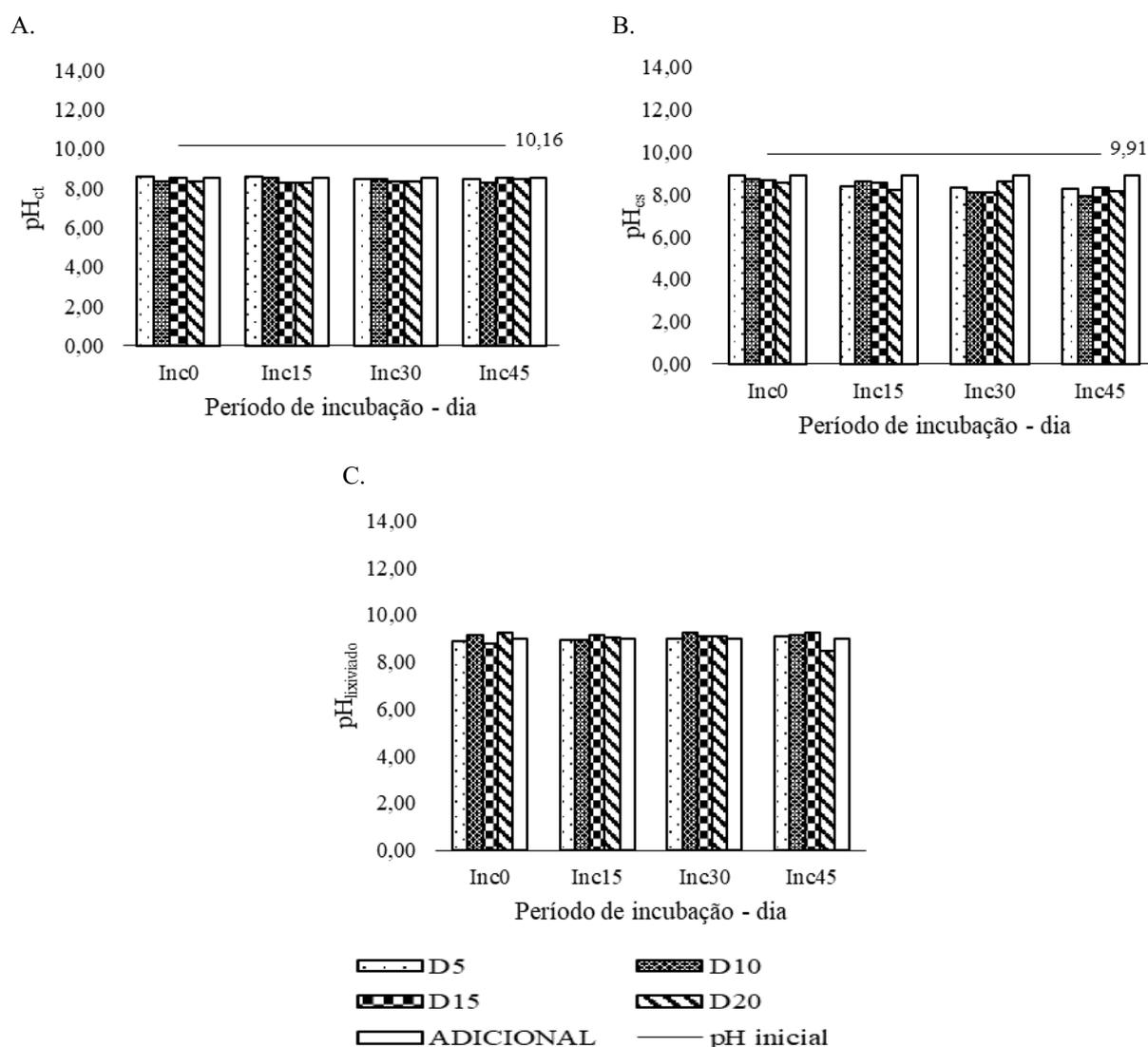


Figura 5. Potencial hidrogeniônico do complexo de troca - pH_{ct} (a), do extrato de saturação do solo - pH_{es} (b) e do lixiviado - pH_{lixiviado} (c) de solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação. D5, D10, D15 e D20 - Doses de 5, 10, 15 e 20 t.ha⁻¹ de biocarvão, respectivamente. Inc0, Inc15, Inc30 e Inc45 - Períodos de 0, 15, 30 e 45 dias de incubação, respectivamente.

Em suas pesquisas outros autores (LUO et al., 2017; LIU et al., 2017; SUN, et al., 2016) também constataram a redução do pH em solos afetados por sais (salinos-sódicos e sódicos), adubados com biocarvão. Este fato pode ser explicado pela redução da PST do solo provocada pelo biocarvão, que induz à redução do pH, além dos valores de pH inicial do biocarvão e do solo, que tendem a entrar em equilíbrio provocando a redução do potencial hidrogenônico da mistura solo-biocarvão. Amini (2016) indica redução considerável no pH dos solos afetados por sais (pH = 8,40) com a adição de biocarvão ácido (pH = 3,1) comparado ao biocarvão alcalino (pH = 8,20).

Outro fator possível para explicar as reduções de pH no solo já sob cultivo pode estar relacionado com a elevada CTC do biocarvão, que favorece a absorção de cátions pelas plantas (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), contribuindo para liberação de H^+ pelas raízes para equilibrar as cargas no solo. Luo et al. (2017) observaram uma queda notável no pH dos horizontes da superfície e do subsolo de solos afetados por sais, atribuível a H^+ trocado por Ca^{2+} ou Mg^{2+} no complexo de troca, induzido pelo biocarvão.

Na figura 6 são apresentados os valores de condutividade elétrica do complexo de troca do solo (a), do extrato de saturação (b) e do lixiviado (c) do solo em função dos tratamentos estudados. A maior redução da CE no complexo de troca, em relação ao valor inicial do solo, ocorreu no tratamento composto pela D10 e Inc45, com um percentual de 73,82%, ou seja, superior ao do tratamento adicional, que promoveu 66,47% de redução da CE inicial do solo ($0,68 \text{ dS.m}^{-1}$). No entanto, na CE_{es} , o tratamento adicional proporcionou maior redução (59,88%). Quanto à CE do lixiviado (Figura 6c), percebe-se que os tratamentos com biocarvão mostraram valores superiores ao do tratamento adicional, indicando que, provavelmente, houve contribuição deste produto na elevação do parâmetro.

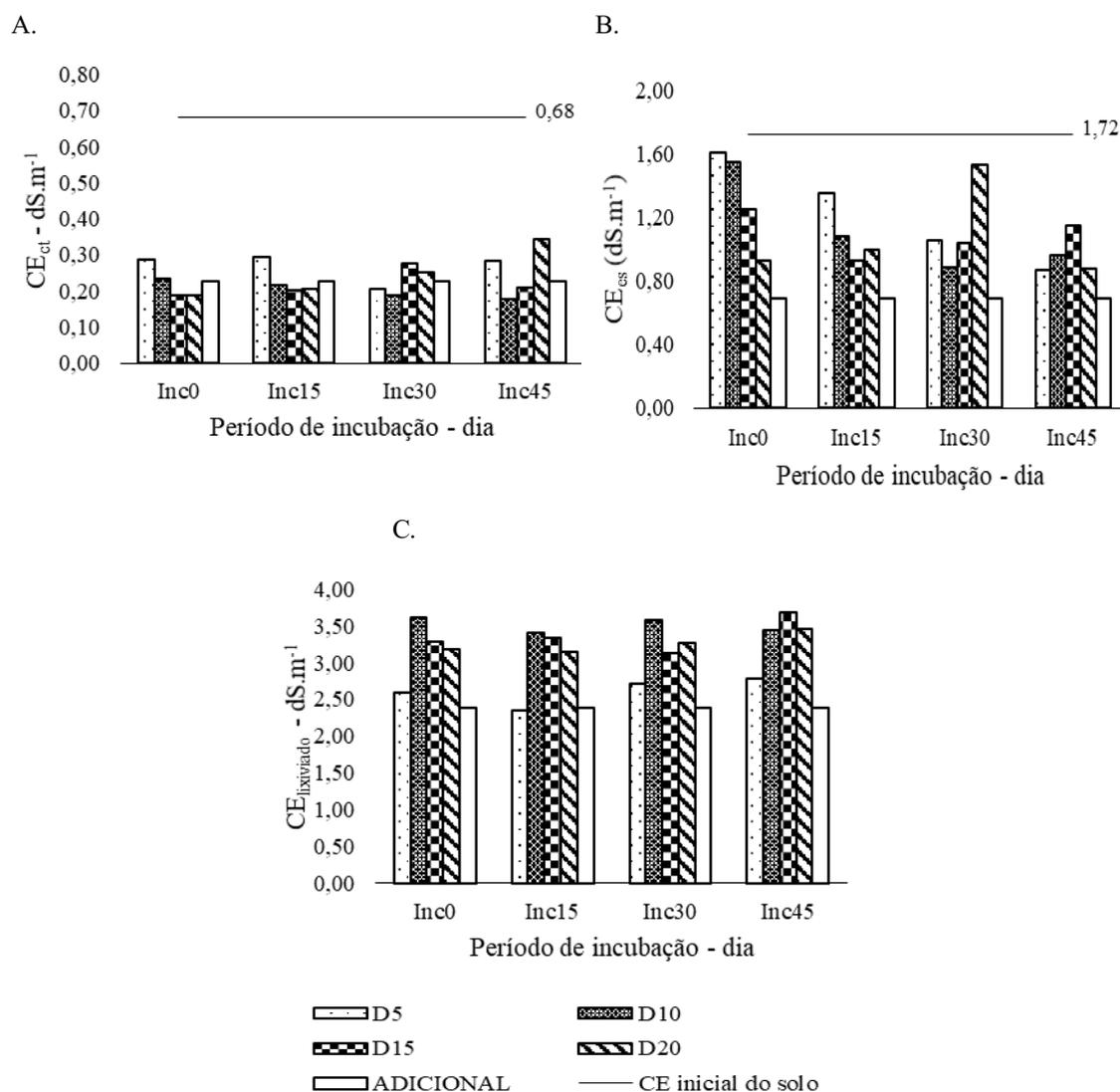


Figura 6. Condutividade elétrica do complexo de troca - CE_{ct} (a), do extrato de saturação do solo - CE_{es} (b) e do lixiviado - $CE_{lixiviado}$ (c) de solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.

D5, D10, D15 e D20 - Doses de 5, 10, 15 e 20 t.ha⁻¹ de biocarvão, respectivamente. Inc0, Inc15, Inc30 e Inc45 - Períodos de 0, 15, 30 e 45 dias de incubação, respectivamente.

O uso do biocarvão como condicionador do solo aliado à lavagem foi capaz de reduzir a CE do solo. A redução da CE em solos degradados por sais (salino-sódico e sódico) que foram submetidos ao tratamento com biocarvão também pode ser encontrada em outras pesquisas (YUE et al., 2016; CHAGANTI et al., 2015). Comparando o efeito de diferentes produtos na recuperação de um solo sódico (biocarvão, composto de biossólidos e de resíduos verdes), Chaganti et al. (2015) observaram que o biocarvão proporcionou maior percentual de redução da CE do solo (88%), sendo esta redução atribuída à melhoria induzida pelo biocarvão na porosidade do solo e na condutividade hidráulica, facilitando a lixiviação de sais.

Os teores de sódio no complexo de troca do solo sofreram redução após os tratamentos aplicados, em relação ao teor inicial do solo, sendo o maior percentual do tratamento adicional (90,52%) seguido pelo tratamento com a D5 e Inc45 (89,41%), conforme a figura 7a. Em estudo com biocarvão da palha de arroz, Peng et al. (2011) perceberam redução de 35% do teor de Na^+ trocável do solo com o aumento da dose de biocarvão, fator atribuído à adsorção deste elemento pelo biocarvão.

No que se refere ao Na^+ do extrato de saturação (Figura 7b), em relação ao teor inicialmente presente no solo, houve redução da concentração apenas no tratamento adicional (3,20%), enquanto se elevou nos tratamentos com biocarvão, com a menor taxa de aumento para D5 com Inc15 (13,05%). Este fato sugere que o Na^+ presente no biocarvão (13%), o segundo mais presente, corroborando com outras pesquisas (LIMA et al., 2017; SOARES et al., 2019), pode ter sido aderido aos colóides do solo, sendo observado no Na^+_{es} que foi elevado, bem como pela presença de Na^+ em grande quantidade no lixiviado (Figura 7c).

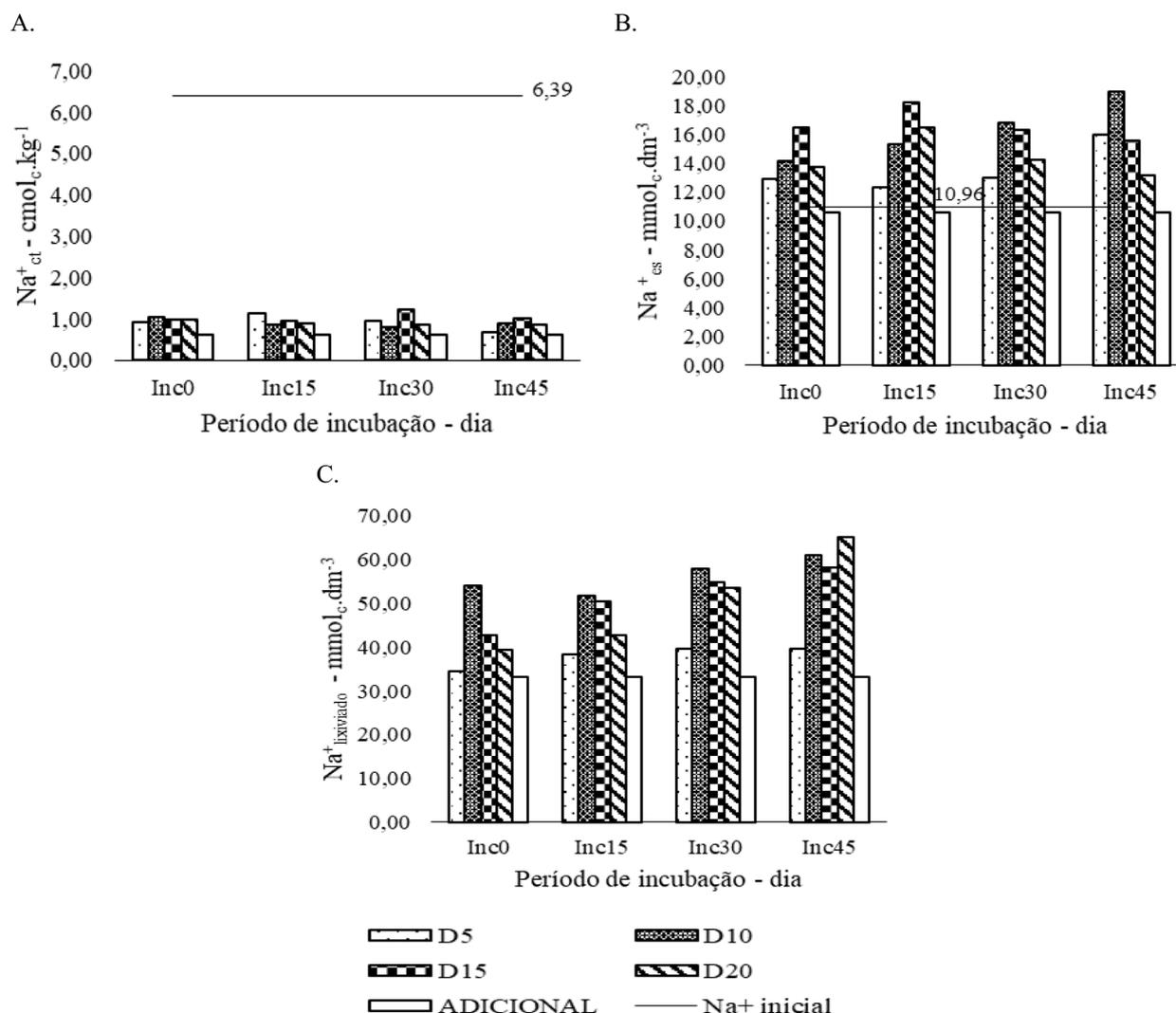


Figura 7. Teores de sódio no complexo de troca - Na^+_{ct} (a), no extrato de saturação do solo - Na^+_{es} (b) e no lixiviado - $Na^+_{lixiviado}$ (c) de solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.

D5, D10, D15 e D20 - Doses de 5, 10, 15 e 20 t.ha⁻¹ de biocarvão, respectivamente. Inc0, Inc15, Inc30 e Inc45 - Períodos de 0, 15, 30 e 45 dias incubação, respectivamente.

O biocarvão elevou os teores de potássio do complexo de troca do solo em todos os tratamentos estudados (Figura 8a), em relação ao teor inicial presente no solo, a maior elevação obtida para a condição de D15 com Inc30, a qual o teor deste elemento aumentou 561,3% comparado ao teor inicialmente presente no solo, enquanto que no tratamento adicional foi de 38,89%. Corroborando com Kim et al., (2016), que informaram aumento da ordem 3,11 vezes no teor de K^+ trocável do solo com a adição do biocarvão (dose de 5% do volume), em comparação com o tratamento controle, fato atribuído a elevada concentração deste elemento no biocarvão.

No entanto, o K^+ do extrato de saturação sofreu forte redução em todos os tratamentos (Figura 8b), sugerindo ao contrário do que houve com o Na^+ , o biocarvão

forneceu K^+ ao complexo de troca do solo e promoveu deslocamento do K^+ presente do extrato de saturação.

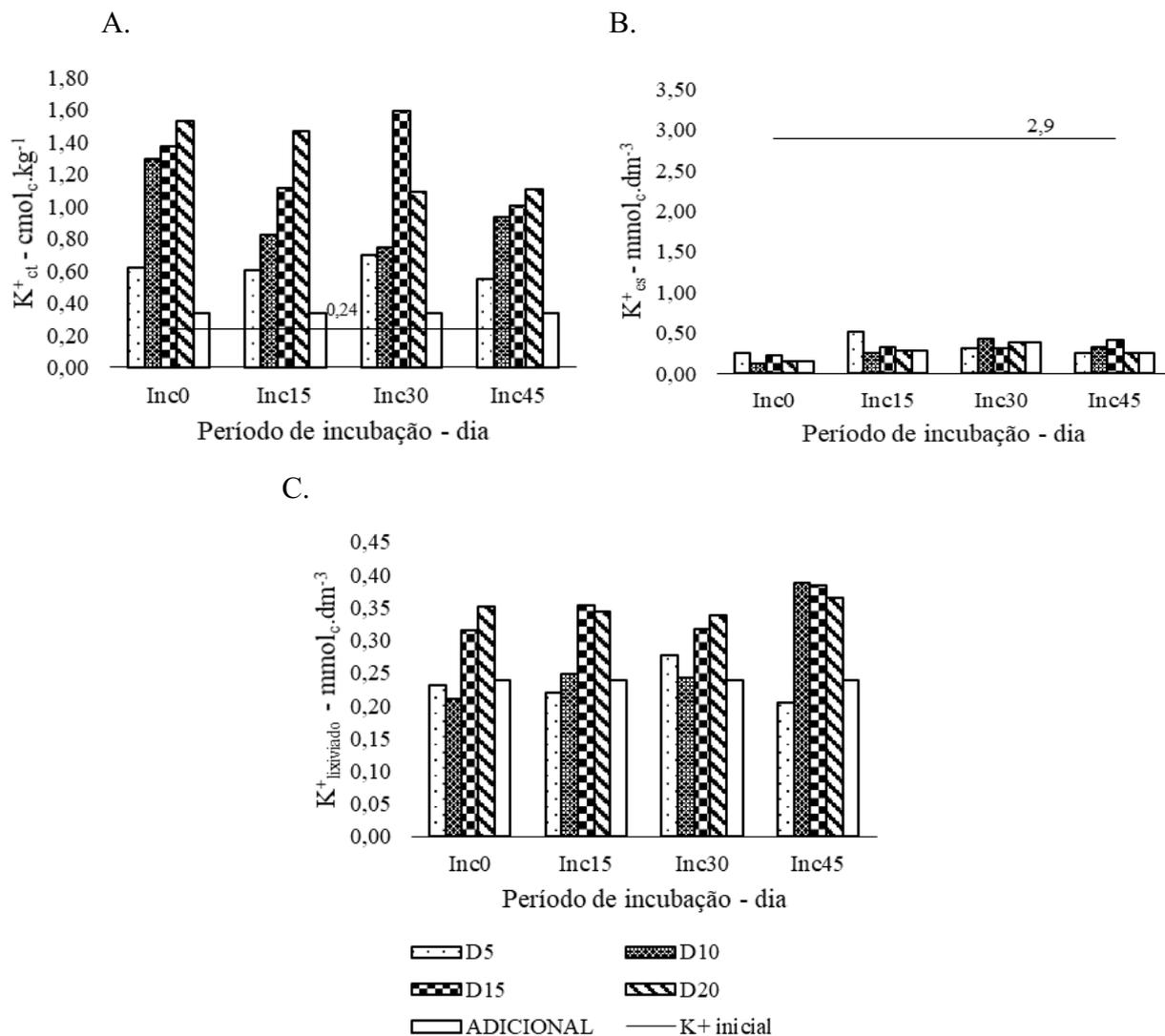


Figura 8. Teores de potássio no complexo de troca – K^+_{ct} (a), no extrato de saturação do solo – Na^+_{es} (b) e no lixiviado – $K^+_{lixiviado}$ (c) de solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.

D5, D10, D15 e D20 - Doses de 5, 10, 15 e 20 t.ha⁻¹ de biocarvão, respectivamente. Inc0, Inc15, Inc30 e Inc45 – Períodos de 0, 15, 30 e 45 dias de incubação, respectivamente.

O biocarvão é produzido a partir de resíduos orgânicos, que contém variáveis quantidades de nutrientes com diferentes taxas de liberação, portanto, com a adição deste condicionador ao solo degradado haverá a melhoria da sua fertilidade e o favorecimento do estado nutricional das plantas cultivadas (DRAKE et al., 2016). Estudos indicaram aumentos consideráveis nos teores de nutrientes, tais como Ca, Mg, K, N e P em solos afetados por sais e adubados com biocarvão (LIN et al., 2015; KIM et al., 2016; ABBAS et al., 2017).

Em estudos com biocarvão a partir da biomassa de coco, LIMA et al. (2017) e SOARES et al. (2019) notaram aumento das concentrações de K^+ e Na^+ na solução do solo, devido a abundância desses elementos na casca, provavelmente, os que mais contribuíram para o aumento da condutividade elétrica (CE) da solução.

O excesso de Na^+ pode reduzir a absorção de K^+ pelas raízes das plantas, sendo fundamental manter o nível desejável desse último na solução, principalmente nos solos que apresentam problemas de salinidade que comprometem o crescimento, o desenvolvimento e a produção das plantas cultivadas (WAKEEL, 2013). A adição de biocarvão em solos afetados por sais pode resultar num aumento do teor de K^+ na solução, contribuindo para aumentar ainda mais o estresse sofrido pelas culturas (LASHARI et al., 2015). Por exemplo, Lin et al. (2015) mostraram que a aplicação de biocarvão - 16 t.ha⁻¹ – em um solo salino não influenciou o pH nem as concentrações de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, mas ampliou a concentração de K^+ trocável em 44%. No entanto, os autores ressaltam que o tipo de biocarvão e as propriedades do solo podem ter uma grande influência na disponibilidade de K^+ .

5.2 Condutividade hidráulica (K_0) e Densidade do solo (D_s)

Com base nos resultados da análise de variância (Tabela 5) verificou-se efeito significativo, ao nível de 1% de probabilidade, da interação entre os fatores doses de biocarvão e períodos de incubação sobre a condutividade hidráulica saturada e a densidade do solo. Observou-se também, efeito significativo nestas variáveis, ao nível de 1% de probabilidade, entre os tratamentos do fatorial e o tratamento adicional.

Tabela 5. Resumo da análise de variância da condutividade hidráulica saturada (K_0) e densidade (D_s) do solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.

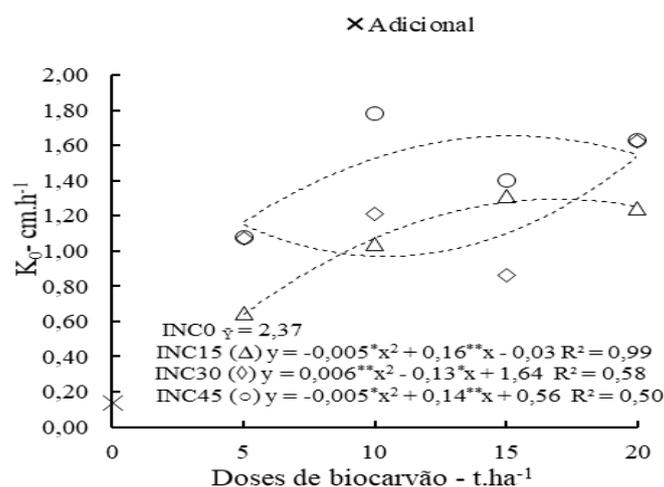
Fator de variação	GL	Quadrado médio	
		K_0	D_s
Dose (D)	3	0,53**	0,01**
Incubação (I)	3	3,09**	0,001**
D x I	9	0,12**	0,002**
Fatorial vs. Adicional	1	5,09**	0,01**
Resíduo	34	0,03	0,0002
Total	50		
CV (%)		12,82	1,02
Média fatorial		1,48a	1,38 a
Média adicional		0,14 b	1,45 b

*, ** - significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo; pelo teste F; CV - coeficiente de variação.

A interação $D \times I$ se deu com ajuste polinomial quadrático para os níveis INC15, INC30 e INC45 (figura 9a), com o maior valor estimado de K_0 - $1,54 \text{ cm.h}^{-1}$ – a partir da dose de 14 t.ha^{-1} e 15 dias de incubação, e o menor valor no mesmo período - $0,65 \text{ cm.h}^{-1}$, na dose de 5 t.ha^{-1} , representando um crescimento de 136,92 % para esta variável com a elevação da dose de biocarvão, e em ambos os casos, considerados “Moderadamente lenta”, conforme Millar (1988).

O aumento do período de incubação provocou redução da K_0 em todos as doses estudadas (figura 9b), sendo os dados ajustados ao modelo polinomial quadrático com o maior valor de K_0 - $2,25 \text{ cm.h}^{-1}$ - da dose de 20 t.ha^{-1} e no INC0, classificada como moderada, segundo Millar (1988). Quando comparada a K_0 do tratamento adicional, em que se usou a dose de 10 t.ha^{-1} de calcário, recomendada por PIZARRO (1978), com a do fatorial, houve diferença significativa ($p < 0,01$), sendo a média do tratamento adicional de $0,14 \text{ cm.h}^{-1}$, classificada como “muito lenta”, e, a do experimento fatorial, $1,48 \text{ cm.h}^{-1}$, “moderadamente lenta”, resultando em um aumento de 957,14%.

A.



B.

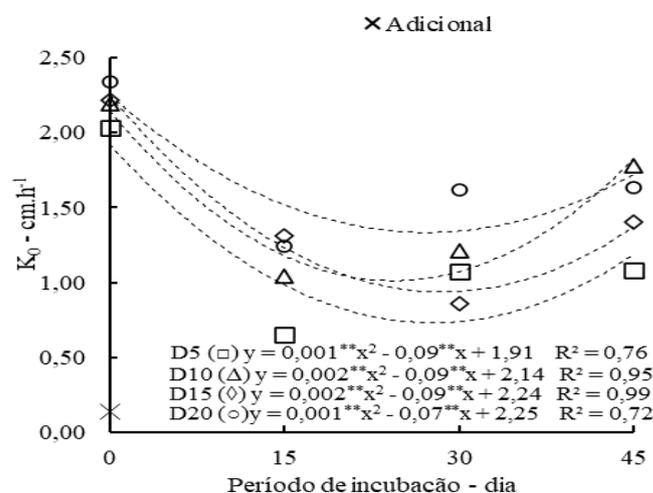
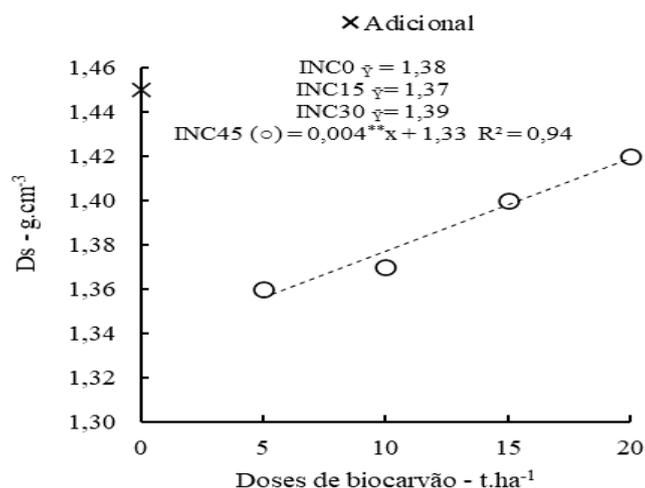


Figura 9. Condutividade hidráulica saturada do solo (K_0) sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

Com base na Tabela 2 constatou-se que, a interação $D \times I$ promoveu efeitos expressivos ($p < 0,01$) sobre a D_s . De acordo com as equações de regressão, para I em função de D , houve ajuste linear crescente aos 45 dias de incubação (Figura 10a) com o maior valor de D_s presente na dose de 20 t.ha^{-1} ($1,41 \text{ g.cm}^3$).

Já para D em função de I (Figura 10b), os dados se ajustaram ao modelo quadrático em $D5$ e $D10$ e, ao linear, em $D15$ e $D20$. O maior valor de D_s - $1,40 \text{ g.cm}^3$ - foi estimado para a $D10$ com tempo de incubação de 5 dias, enquanto que o menor valor - $1,34 \text{ g.cm}^3$ - para a $D5$ com 25 dias de incubação, condição mais favorável para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas. A D_s média obtida no fatorial - $1,38 \text{ g.cm}^3$ - foi 4,83% inferior ao valor do tratamento adicional - $1,45 \text{ g.cm}^3$ -, ao nível de 1% de probabilidade estatística.

A.



B.

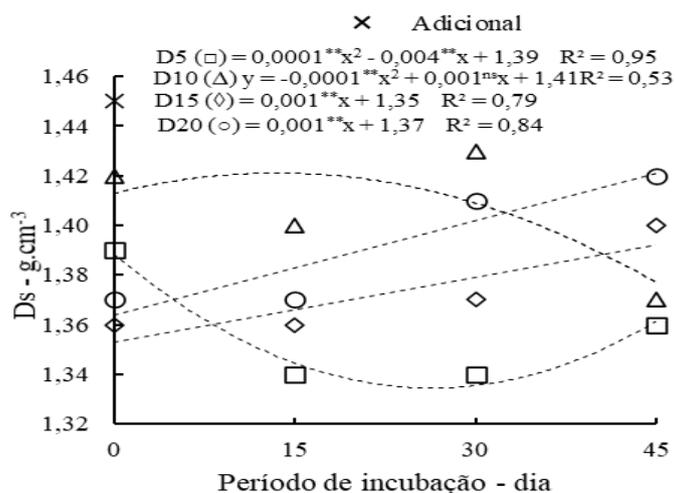


Figura 10. Densidade do solo (D_s) sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

Estudos recentes confirmaram o impacto positivo do biocarvão sobre as propriedades físicas de solos afetados por sais (CHAGANTI et al., 2015; AMINI et al., 2016; SUN et al., 2017). Por se tratar de um material altamente poroso, o biocarvão melhorou a porosidade total, a capacidade de retenção de água e a densidade do solo, esses benefícios, por sua vez, estão diretamente relacionados à natureza da matéria prima, às condições da pirólise (temperatura e tempo de permanência) e à dosagem aplicada ao solo (OBIA et al., 2016, ZHANG et al., 2012).

Em estudos conduzidos com incubação de solo e posterior lixiviação em colunas, em condições de laboratório, Chaganti et al. (2015) mostraram que o biocarvão melhorou a agregação e aumentou a condutividade hidráulica saturada do solo salino-sódico, o que

aconteceu também nesta pesquisa. Da mesma forma, outras pesquisas (AMINI et al., 2016; KIM et al., 2016) relataram um aumento considerável no teor de Ca^{2+} de solos salinos-sódicos adubados com biocarvão, com conseqüente melhoria na porcentagem de agregados estáveis em água, condutividade hidráulica e retenção de água.

A redução da K_0 e o aumento da D_s à medida que se elevou o período de incubação, verificados nesta pesquisa, podem ser explicados pelos dados publicados por Dos Santos et al. (2021). Esses autores, ao avaliarem o efeito do biocarvão sobre a recuperação de um solo salino-sódico, em colunas, constataram que o biocarvão foi mais eficaz na agregação do solo do que o gesso, menor número de fissuras no solo após a lixiviação, indicando que o processo de remoção de sais foi mais eficiente e com um movimento mais lento da água no perfil do solo.

5.2 Variáveis biométricas do algodoeiro BRS Aroeira

5.2.1 Diâmetro do caule - DC

As análises do diâmetro do caule do algodoeiro ao longo do ciclo constataram efeito significativo das doses de biocarvão aos 30 DAS ($P < 0,01$), e interação entre as doses e os períodos de incubação ($p < 0,05$) aos 90 DAS (Tabela 6). Houve diferença estatística ($p < 0,01$) entre os tratamentos do fatorial e o tratamento adicional, aos 30 e 90 DAS.

Tabela 6. Resumo da análise de variância da variável diâmetro do caule – DC - aos 30, 60 e 90 dias após o semeio (DAS), do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

Fator de variação	GL	Quadrado médio		
		Diâmetro do caule		
		30 DAS	60 DAS	90 DAS
Dose (D)	3	1,79**	0,14 ^{ns}	1,00**
Incubação (I)	3	0,19 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,53*
D x I	9	0,22 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,41*
Fatorial vs. Adicional	1	1,34**	0,05 ^{ns}	3,08**
Resíduo	34	0,15	0,19	0,17
Total	50			
CV (%)		9,42	5,64	4,41
Média fatorial		4,09a	7,68a	9,37a
Média adicional		3,40b	7,55a	8,32b

*, ** - significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo; pelo teste F; CV - coeficiente de variação. DAS - dias após o semeio.

Os dados de DC das plantas de algodão aos 30 DAS em função das doses de biocarvão se ajustaram ao modelo de regressão polinomial quadrático (Figura 11), sendo estimado o valor máximo de 4,22 mm com a dose de 13,50 t.ha⁻¹. Ainda aos 30 DAS, observou-se que a média do DC das plantas submetidas aos tratamentos com biocarvão e períodos de incubação (fatorial) foi de 4,09 mm, ou seja, 20,29% superior ao valor de 3,40 mm do tratamento adicional, que utilizou a dose de 10 t.ha⁻¹ de calcário, tradicionalmente recomendada para a recuperação de solo sódico (PIZARRO, 1978).

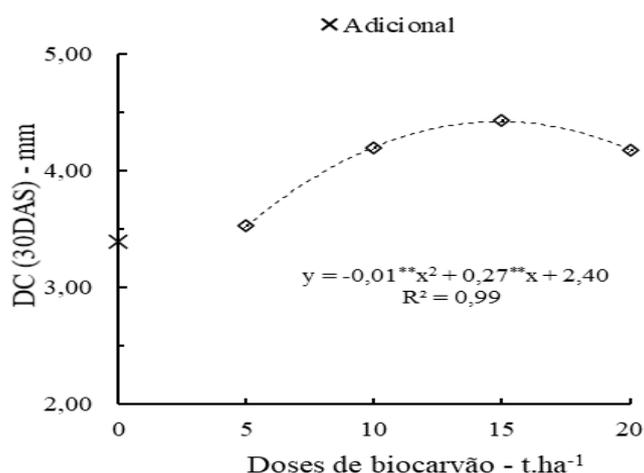
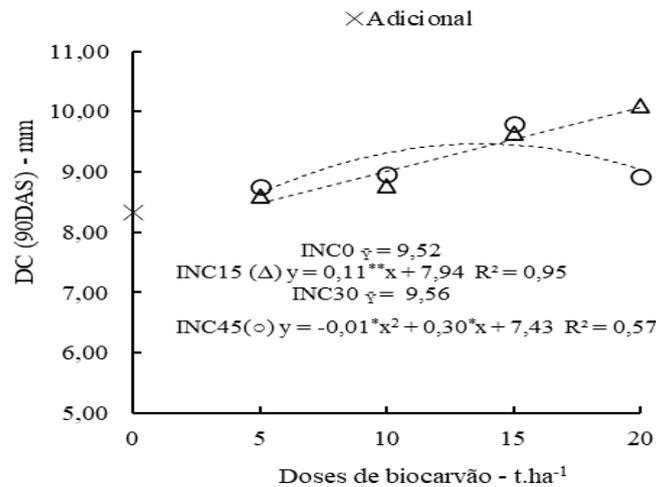


Figura 11. Diâmetro do caule – DC do algodoeiro BRS Aroeira aos 30 dias após o semeio (30DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão.

Aos 90 DAS, os dados de DC das plantas do INC15, em função de D, se ajustaram ao modelo de regressão polinomial linear crescente. Já para as submetidas a INC45, o ajuste se deu com o modelo quadrático (Figura 12a). Enquanto que, quando analisado o fator D em função de I, houve ajuste apenas para D20, com modelo polinomial quadrático (Figura 12b). O valor máximo de DC, nas condições deste estudo, foi estimado na dose de 20 t.ha⁻¹ com um período de incubação de 15 dias - 10,14mm -, satisfatório para o algodoeiro BRS Aroeira (ARAÚJO et al., 2014). As plantas do fatorial alcançaram DC médio de 9,37mm, 12,62% superior ao tratamento com aplicação de calcário adicional - 8,32mm.

A.



B.

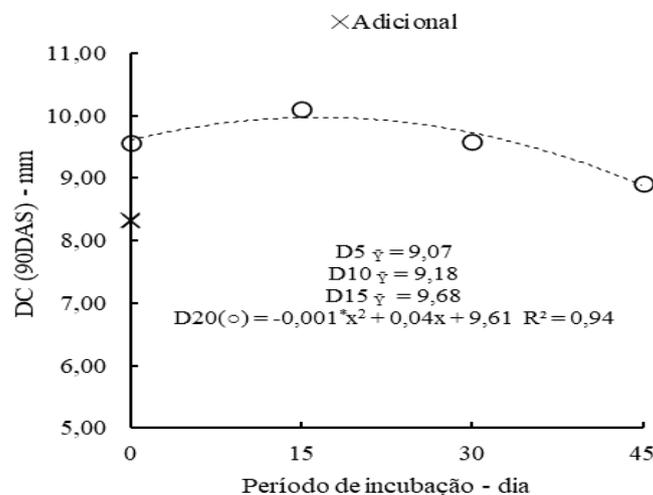


Figura 12. Diâmetro do caule – DC do algodoeiro aos 90 dias após o semeio (90DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

A adição de biocarvão contribui diretamente para o fornecimento de matéria orgânica ao solo. Tal fato proporciona melhoria das características químicas, físicas e microbiológicas do solo, pois o biocarvão promove maior capacidade de armazenamento de água e aeração, tornando o meio propício ao desenvolvimento de microrganismos benéficos ao solo e às plantas, favorecendo o desenvolvimento (MESQUITA et al., 2012).

Barbosa et al. (2019) encontraram efeito significativo da adição de matéria orgânica - esterco caprino - no DC do algodoeiro colorido cultivado em solo com distintos níveis de salinidade, com diâmetro máximo de 10,65mm ao final do ciclo da cultura,

obtido na maior dosagem estudada, valor próximo ao encontrado nesta pesquisa na melhor condição (10,14mm).

5.2.2 Altura da planta - AP

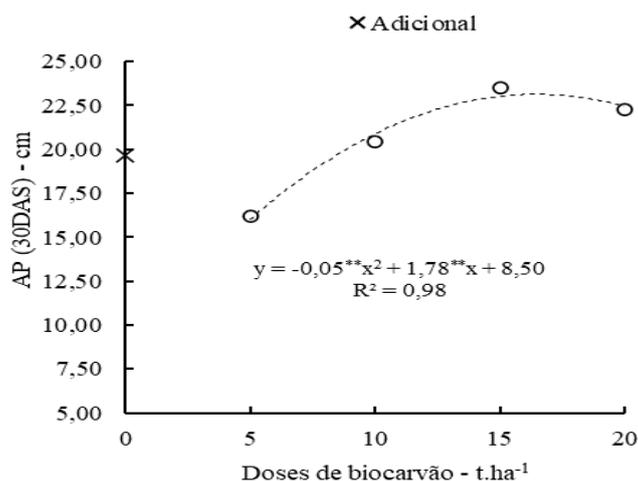
Com base nos resultados da análise de variância (Tabela 7) verificou-se efeito significativo das doses de biocarvão sobre a altura das plantas aos 30 ($p < 0,01$) e 60 DAS ($p < 0,05$), e na taxa de crescimento relativo. A interação das doses com os períodos de incubação ocorreu aos 90 DAS ($p < 0,01$). Observou-se também diferença significativa nesta variável aos 60 DAS, ao nível de 5% de probabilidade, entre os tratamentos do fatorial e o tratamento adicional utilizando calcário.

Tabela 7. Resumo da análise de variância da altura da planta – AP - aos 30, 60 e 90 dias após o semeio (DAS), do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.

Fator de variação	GL	Quadrado médio		
		Altura da planta		
		30 DAS	60 DAS	90 DAS
Dose (D)	3	122,37**	116,58*	397,90**
Incubação (I)	3	1,20 ^{ns}	14,53 ^{ns}	105,13*
D x I	9	11,49 ^{ns}	24,36 ^{ns}	153,47**
Fatorial vs. Adicional	1	2,48 ^{ns}	182,59*	1,68 ^{ns}
Resíduo	34	11,79	35,24	26,59
Total	50			
CV (%)		16,71	10,64	5,25
Média fatorial		20,6a	55,29b	98,22a
Média adicional		19,67a	63,33a	99,00a

*, ** - significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo; pelo teste F; CV - coeficiente de variação. DAS – dias após o semeio.

Aos 30 DAS, a estimativa da AP máxima, nas condições deste estudo, foi de 24,34 cm, na dose de 17,8 t.ha⁻¹, seguindo o modelo de regressão polinomial quadrático (Figura 13a). Enquanto que, aos 60 DAS, os dados se ajustaram ao modelo de regressão linear crescente (Figura 13b), com um acréscimo de 11,99% na AP entre as doses de 5 e 20 t.ha⁻¹ - 51,80 e 58,82cm, respectivamente -. Quando comparada ao tratamento adicional, a AP, aos 60 DAS, foi 14,54% inferior, com valor médio de 55,29 cm, enquanto que, no adicional foi de 63,33 cm.



B.

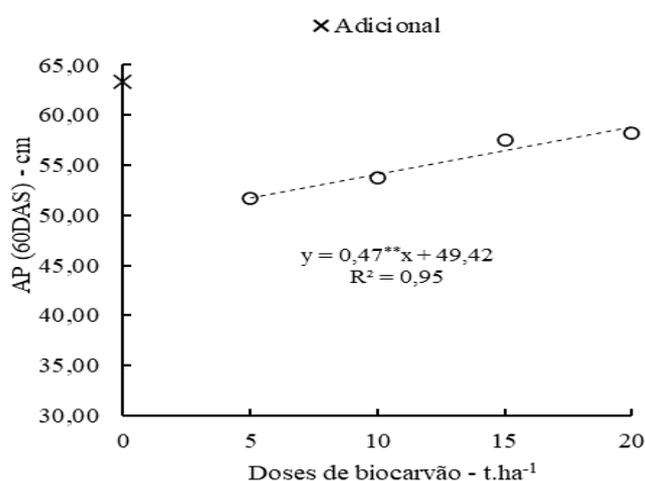


Figura 13. Altura da planta - AP do algodoeiro BRS Aroeira aos 30 dias após o semeio (30DAS) cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

Neste sentido, o presente trabalho constatou que o biocarvão influenciou de maneira positiva nas fases 1 e 2 da cultura: da emergência ao surgimento do primeiro botão floral (média de 40DAS) e do primeiro botão floral até a abertura da primeira flor (média de 60 DAS). Segundo Baker & Landivar (1991), a fase 2 do algodoeiro é o período em que se acentuam o crescimento em altura e a acumulação de massa seca pela planta, de forma linear, corroborando com os dados dessa pesquisa.

Os dados de AP aos 90 DAS apresentaram efeito estatístico significativo da interação entre os fatores, ajustados ao modelo de regressão linear crescente para INC15 e INC30 em função de D (Figura 14a), e ao modelo de polinomial quadrático para D10 e D20 em função de I (Figura 14b). Nestas condições, o maior valor de altura da planta aos 90 DAS se deu através da dose de 20 t.ha⁻¹ com período de incubação estimado de 25

dias, apresentando o valor de 113,17cm, dentro da margem esperada de altura da planta para a BRS Aroeira em condições ideais de cultivo (ARAÚJO et al., 2013).

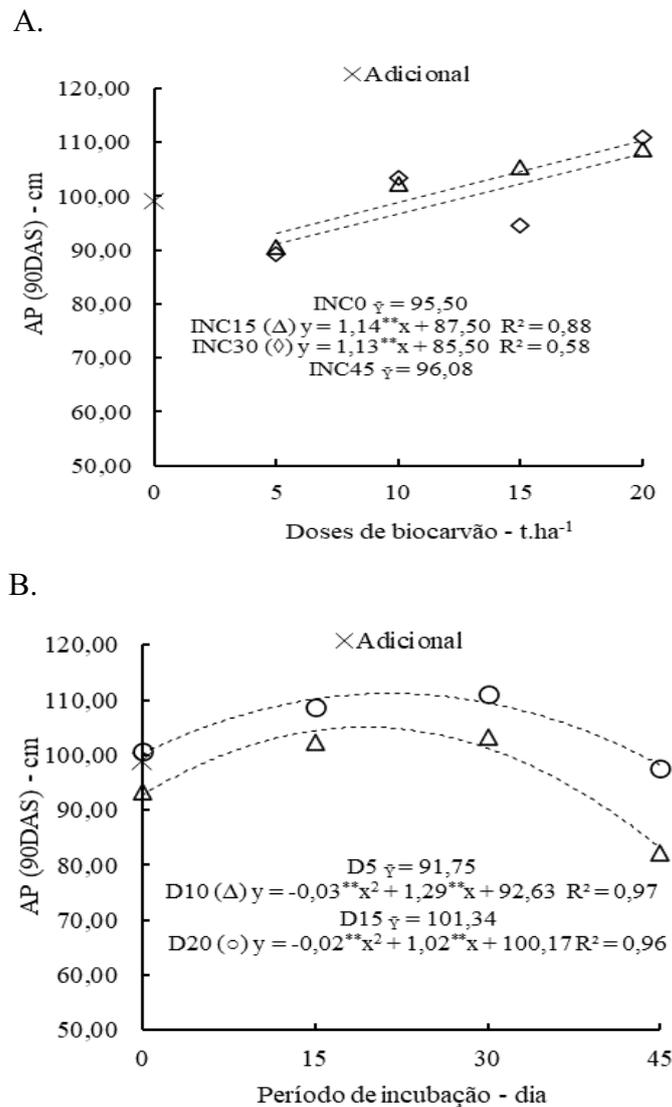


Figura 14. Altura da planta – AP do algodoeiro BRS Aroeira aos 90 dias após o semeio (90DAS) e aos 30 dias após o semeio (30DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

O incremento proporcionado pelas doses de biocarvão na AP, nesta pesquisa, foi recorrente nos 3 períodos avaliados (30, 60 e 90 DAS), corroborando com outros estudos presentes na literatura científica. A exemplo de Kim et al (2016) ao evidenciarem que o biocarvão obtido da casca de arroz aumentou o crescimento do milho cultivado em solos degradados por salinidade, contendo teores elevados de Na^+ trocável e sais solúveis. Em outro estudo, a aplicação de biocarvão foi capaz de atuar no maior crescimento e acúmulo de biomassa sob condições de irrigação salina de $3,6 \text{ dS.m}^{-1}$, em comparação com o

tratamento controle de 0,9 dS.m⁻¹ (USMAN et al., 2016). Por outro lado, observou-se que, com períodos de incubação do biocarvão no solo superiores a 25 dias houve redução exponencial desta variável.

5.2.3 Número de folhas - NF

Para a variável número de folhas, baseado nos resultados da análise de variância da tabela 8, ocorreu efeito significativo das doses de biocarvão aos 30 e 60 DAS (p<0,01) e da sua interação com os períodos de incubação aos 90 DAS (p<0,01). Além de efeito significativo nesta variável aos 90 DAS, ao nível de 1% de probabilidade, entre os tratamentos do fatorial e o tratamento adicional.

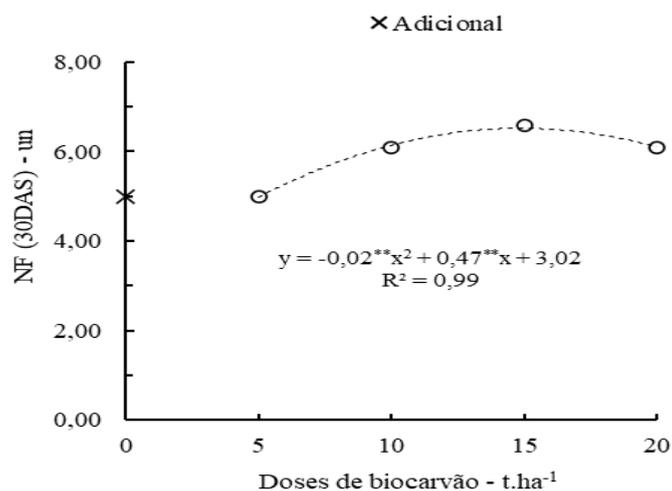
Tabela 8. Resumo da análise de variância do número de folhas - NF - aos 30, 60 e 90 dias após o semeio (DAS), do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.

Fator de variação	GL	Quadrado médio		
		Número de folhas		
		30 DAS	60 DAS	90 DAS
Dose (D)	3	5,35**	24,85**	68,19**
Incubação (I)	3	0,24 ^{ns}	6,69 ^{ns}	7,80 ^{ns}
D x I	9	0,45 ^{ns}	4,95 ^{ns}	77,50**
Fatorial vs. Adicional	1	2,48 ^{ns}	5,83 ^{ns}	127,85**
Resíduo	34	0,71	4,9	9,37
Total	50			
CV (%)		14,28	11,87	5,57
Média fatorial		5,94a	18,56a	55,40a
Média adicional		5,00a	20,00a	48,67b

*, ** - significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo; pelo teste F; CV- coeficiente de variação. DAS – dias após o semeio.

Os dados de NF em função das doses de biocarvão, aos 30 DAS se ajustaram ao modelo de regressão polinomial quadrático, o valor máximo estimado de 5,78 unidades com a dose 11,8 t.ha⁻¹ (Figura 15a). Aos 60 DAS, houve ajuste linear dos dados em função das doses de biocarvão (Figura 15b), com acréscimo de 17,61% à medida que se elevou a dose de 5 para 20 t.ha⁻¹ (17,04 e 20,04 unidades, respectivamente).

A.



B.

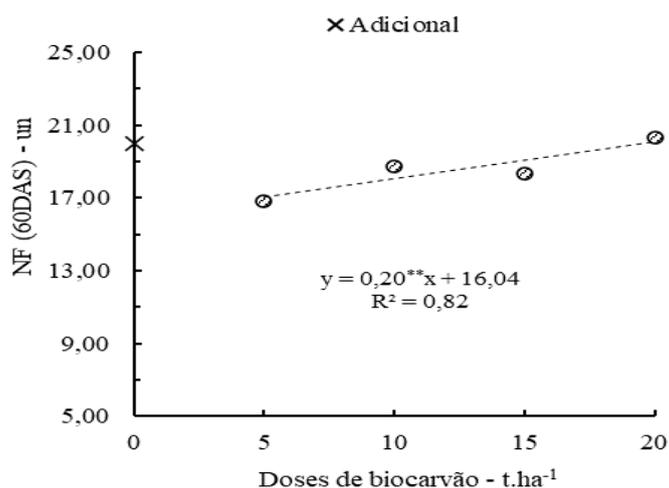
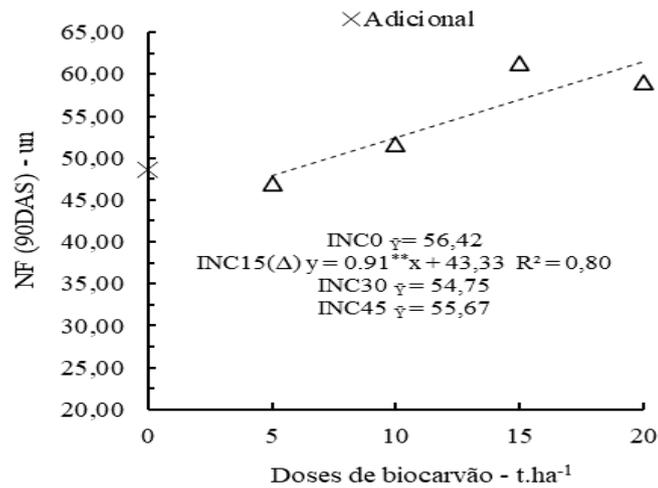


Figura 15. Número de folhas – NF - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão, aos 30 (a) e 60 (b) dias após o semeio - DAS.

Para o NF aos 90 DAS, analisando I em função de D, houve ajuste apenas para INC15, com modelo de regressão linear crescente (Figura 16a), com aumento de 28,51% entre as doses de 5 e 20 t.ha⁻¹. No entanto, para D em função de I, os dados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial quadrático, para D5, D10 e D20 (Figura 16b). O maior valor do NF foi de 62,61 unidades na dose de 20 t.ha⁻¹ de biocarvão e 22 dias de incubação no solo. O valor médio geral do NF do fatorial foi de 55,40 unidades, enquanto que, para o tratamento adicional, de 48,67 unidades - 13,83% inferior.

A.



B.

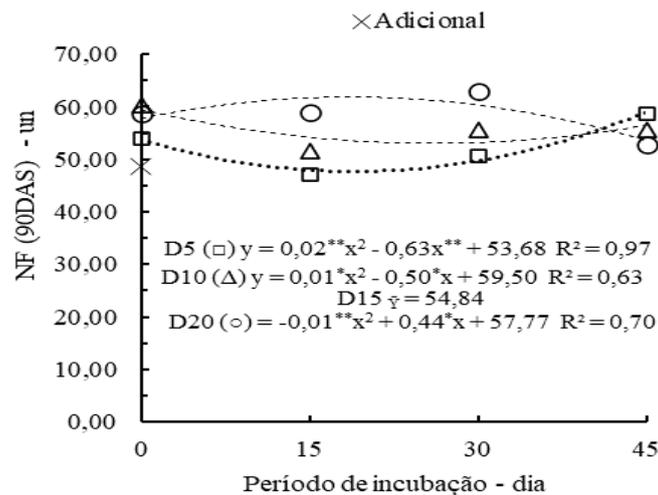


Figura 16. Número de folhas – NF - do algodoeiro BRS Aroeira aos 90 dias após o semeio (90DAS), cultivado em solo sódico, em função das doses de biocarvão aplicadas (a) e dos períodos de incubação do biocarvão no solo (b).

Semelhante ao ocorrido na variável AP, o biocarvão influenciou positivamente nas fases de crescimento vegetativo da cultura, ocorrendo incremento nesta variável com o aumento das doses aos 30 e 60 DAS. Aos 90 DAS, observou-se que houve redução do NF com o incremento das doses, o que pode ser explicado pelo desenvolvimento fenológico da cultura após o estágio de crescimento vegetativo (60 DAS), pois as folhas e estruturas reprodutivas competem entre si por assimilados disponíveis na planta (ORGAZ et al., 1991).

5.2.4 Área foliar - AF

As análises da área foliar das plantas de algodão ao longo do ciclo constataram que houve efeito significativo da interação D x I aos 30 e 90 DAS, bem como para as

taxas de crescimento absoluto e relativo da AF, conforme a tabela 9. Houve ainda diferença estatística ($p < 0,01$) entre os tratamentos do fatorial e o tratamento adicional para a AF, aos 30, 90 DAS.

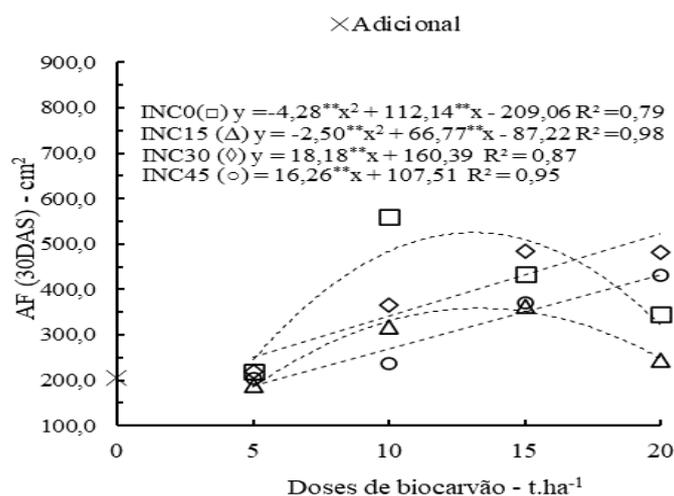
Tabela 9. Resumo da análise de variância da área foliar – AF - do algodoeiro BRS Aroeira aos 30, 60 e 90 dias após o semeio (DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.

Fator de variação	GL	Quadrado médio		
		Área foliar		
		30 DAS	60 DAS	90 DAS
Dose (D)	3	100323,74**	162051,98 ^{ns}	512204,18**
Incubação (I)	3	37583,63**	366351,57 ^{ns}	462636,63*
D x I	9	20712,67**	103502,19 ^{ns}	965012,95**
Fatorial vs. Adicional	1	52566,16**	1538,19 ^{ns}	798572,15*
Resíduo	34	1681,88	69988,06	114107
Total	50			
CV (%)		12,29	13,32	7,45
Média fatorial		341,64a	1988,17a	4567,59a
Média adicional		205,20b	1964,83a	4035,78b

*, ** - significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade respectivamente; ns - não significativo; pelo teste F; CV- coeficiente de variação. DAS – dias após o semeio.

Para a AF aos 30 DAS, os níveis de I em função de D resultaram em ajuste ao modelo de regressão polinomial quadrático, em INC0 e INC15, enquanto que, para INC30 e INC45, o ajuste se deu ao modelo linear crescente (Figura 17a). Quando analisado o fator D em função de I, o ajuste se deu apenas para D10, com modelo de regressão polinomial quadrático (Figura 17b). Nas condições estudadas, o maior valor de AF aos 30 DAS foi de 525,48 cm², para o nível 0 de incubação e dose de 13,10 t.ha⁻¹; e aos 60 DAS foi de 537,13 cm² no tratamento de 10 t.ha⁻¹ e nível 0 de incubação. Quando comparada ao tratamento adicional (205,20 cm²), a média geral da AF aos 30 DAS do fatorial foi superior ao nível de 66,49% (341,64 cm²).

A.



B.

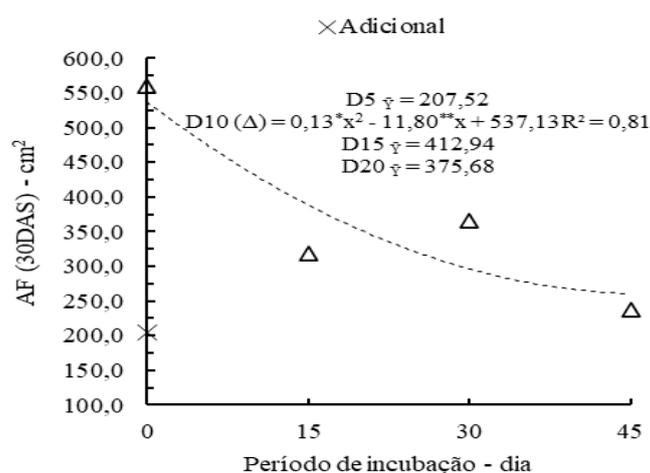
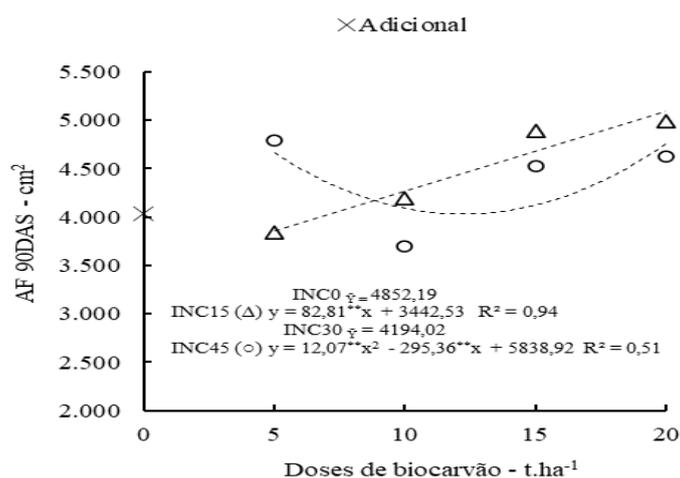


Figura 17. Área foliar – AF - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico, aos 30 dias após o semeador (30DAS), em função das doses de biocarvão (a), e aos 60 DAS, em função dos períodos de incubação do biocarvão no solo (b).

Em estudo realizado com a cultura do algodoeiro em solo com diferentes níveis de porcentagem de sódio trocável e de doses de adubação orgânica, utilizando como fonte o esterco de caprino, Souza et al. (2018) constataram que as doses crescentes de matéria orgânica tiveram efeitos positivos na AF aos 40 e 60 DAS, causando incrementos de 69,77 e 49,72% por unidade de aumento das doses, respectivamente. Segundo os autores, a matéria orgânica incrementada no solo pelo esterco pode ter promovido a proliferação de microrganismos, o que é capaz de aumentar o nível de disponibilidade de nutrientes às plantas, levando a uma maior AF, o que no caso desta pesquisa pode ser atribuído ao biocarvão.

A AF, aos 90 DAS, foi influenciada significativamente pela interação entre os fatores D x I, com ajuste linear crescente no nível de INC15 em função das doses de biocarvão, e quadrático no INC45 (Figura 18a), para o fator D em função de I, o ajuste foi apenas no nível de D5, com ajuste quadrático (Figura 18b). Nestas condições, o maior valor de AF da planta aos 90 DAS foi para D20 (5098,73 cm²), com período de incubação estimado de 15 dias. O valor médio da AF no fatorial foi de 4567,59cm², sendo 13,18% superior ao tratamento adicional (4035,78cm²).

A.



B.

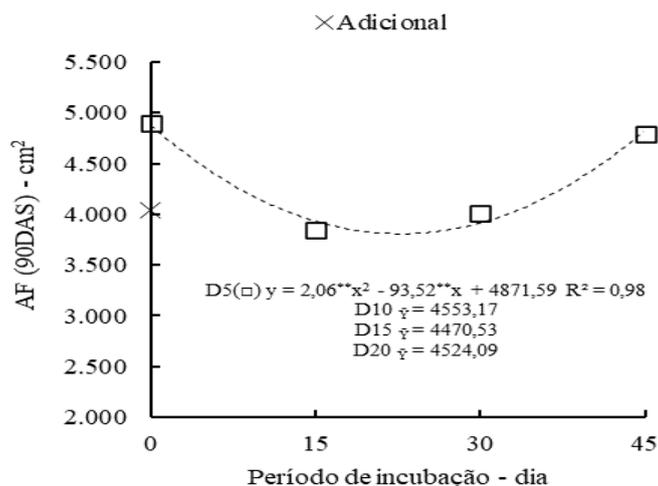


Figura 18. Área foliar – AF - do algodoeiro BRS Aroeira aos 90 dias após o semeio (90DAS), cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

O uso do biocarvão proporcionou incrementos significativos na AF ao final da fase de crescimento vegetativo da cultura, um fator de fundamental importância por se tratar de uma variável indicativa da produção vegetal, pois o processo fotossintético

depende da interceptação da energia luminosa e sua conversão em energia química na lâmina foliar, ou seja, quanto maior a AF, melhor será a fotossíntese (SILVA et al., 2008).

Em estudo com o uso do biocarvão em solo afetado por sais e cultivado com milho por dois anos consecutivos, Lashari et al. (2015) indicaram aumento da altura da planta, da densidade vegetativa, do comprimento da raiz, do índice de área foliar, dos pigmentos fotossintéticos e do rendimento de grãos de milho.

Diversos autores relatam que, de acordo com a matéria-prima utilizada para obtenção do biocarvão, pode ocorrer aumento da concentração de K^+ , e esse aumento em solos salinos é considerado um dos principais benefícios associados ao uso deste condicionador, pois possibilita o combate dos impactos adversos do Na^+ , favorecendo o crescimento das plantas (ABBAS et al., 2017; AKHTAR et al., 2015; DRAKE et al., 2016).

5.3 Variáveis de fitomassa do algodoeiro BRS Aroeira

A análise de variância evidenciou que houve efeito significativo de D na variável de fitomassa fresca das folhas ($p < 0,05$) e da interação D x I para a fitomassa fresca do caule ($p < 0,01$) e da parte aérea ($p < 0,05$), conforme a tabela 10. Observou-se também que, na fitomassa fresca das folhas, teve diferença estatística entre as plantas do fatorial e do tratamento adicional.

Tabela 10. Resumo da análise de variância das variáveis: fitomassa fresca das folhas (FFF), do caule (FFC), da raiz (FFR) e da parte aérea (FFPA) do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão, em distintos períodos de incubação.

Fator de variação	GL	Quadrado médio			
		FFF	FFC	FFR	FFPA
Dose (D)	3	10,25*	88,64**	9,02 ^{ns}	149,73**
Incubação (I)	3	1,52 ^{ns}	88,05**	2,46 ^{ns}	42,50*
D x I	9	6,97 ^{ns}	56,10**	6,75 ^{ns}	74,03**
Fatorial vs. Adicional	1	22,97*	17,46 ^{ns}	1,21	0,38 ^{ns}
Resíduo	34	3,39	8,80	6,07	12,11
Total	50				
CV (%)		7,23	7,67	27,70	5,43
Média fatorial		25,61a	38,54a	8,86a	64,15a
Média adicional		22,76b	41,03a	9,51a	63,78a

*, ** - significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo; pelo teste F; CV - coeficiente de variação.

Os dados de FFF em função das doses de biocarvão aplicadas no solo se ajustaram ao modelo de regressão linear crescente, o qual apresentou acréscimo de 8,56% com a elevação da dose de 5 para 20 t.ha⁻¹ (Figura 19). Quando comparado ao tratamento adicional (22,76g), as plantas do experimento fatorial foram superiores em 12,52% (25,61g).

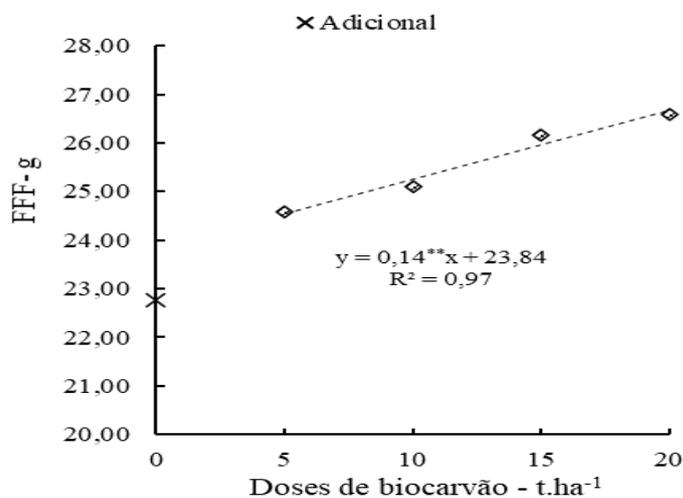
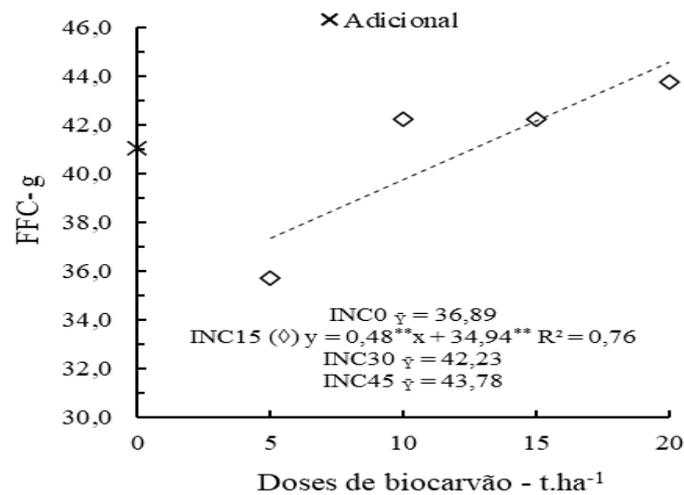


Figura 19. Fitomassa fresca das folhas - FFF - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão.

Para a variável FFC, os dados demonstraram efeito estatístico significativo da interação D x I, sendo ajustado o modelo de regressão linear crescente para o nível de 15 dias de incubação em função das doses de biocarvão (Figura 20a), e polinomial quadrático para a dose de 10 t.ha⁻¹ em função do período de incubação (Figura 20b). Para as condições deste estudo, o máximo valor estimado foi de 45,49g para a dose de 10 t.ha⁻¹ e um período de 18 dias de incubação do biocarvão no solo.

A.



B.

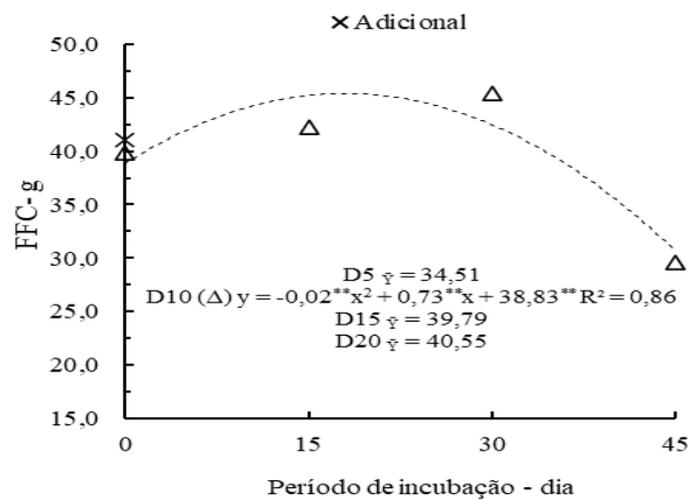


Figura 20. Fitomassa fresca do caule – FFC - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

Os dados de FFPA em função de D se ajustaram ao modelo de regressão polinomial quadrático no nível 0 de incubação e ao modelo linear crescente no nível de 15 dias de incubação (Figura 21a). Enquanto que, em função de I, houve ajuste ao modelo de regressão polinomial quadrático para os níveis de 10 e 20 t.ha⁻¹ (Figura 21b). O valor máximo de FFPA - 71,37g - foi estimado para a dose de 20 t.ha⁻¹ de biocarvão e 15 dias de incubação no solo.

A.

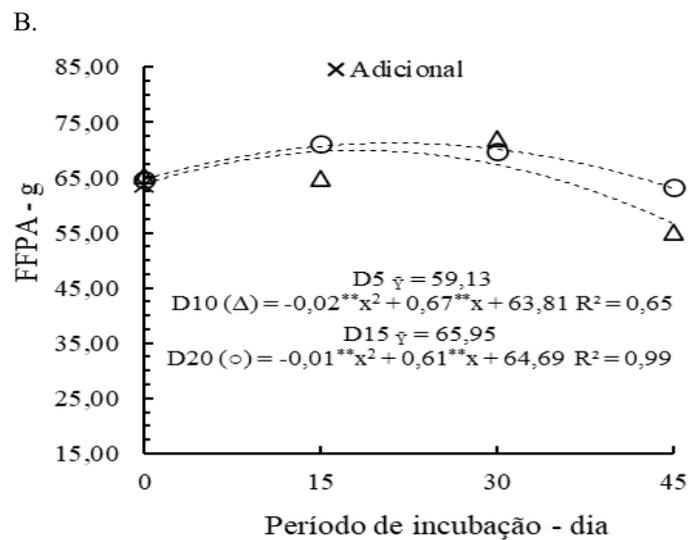
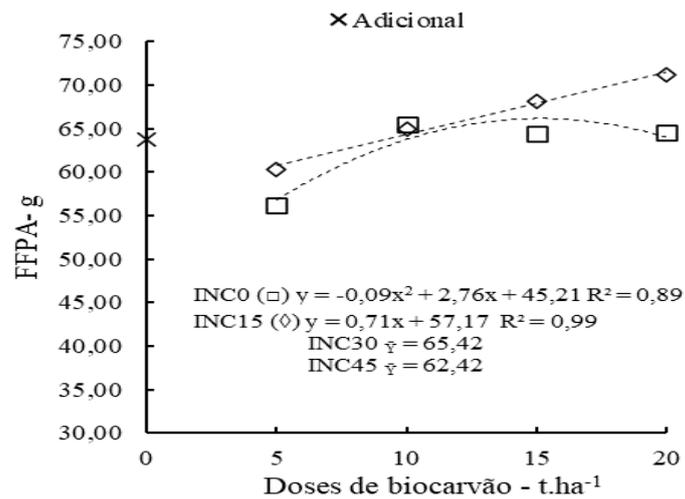


Figura 21. Fitomassa fresca da parte aérea - FFPA do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

Com base nos resultados da análise de variância (Tabela 11) percebe-se efeito estatístico significativo das doses de biocarvão para a FSR ($p < 0,05$) e da interação D x I ($p < 0,01$) para a FSC e FSPA, além de diferença estatística entre as plantas do fatorial e do tratamento adicional na FSPA.

Tabela 11. Resumo da análise de variância para as variáveis: fitomassa seca das folhas (FSF), do caule (FSC), da raiz (FSR) e da parte aérea (FSPA) do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em distintos períodos de incubação.

Fator de variação	GL	Quadrado médio			
		FSF	FSC	FSR	FSPA
Dose (D)	3	8,76 ^{ns}	8,75 ^{ns}	6,67*	103,40**
Incubação (I)	3	2,60 ^{ns}	11,54*	0,74 ^{ns}	52,45 ^{ns}
D x I	9	6,68 ^{ns}	14,27**	2,18 ^{ns}	65,27**
Fatorial vs. Adicional	1	17,34 ^{ns}	2,95 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1283,66**
Resíduo	34	8,55	3,92	2,14	19,61
Total	50				
CV (%)		12,88	10,56	33,32	7,36
Média fatorial		22,85a	18,67a	4,49a	61,39a
Média adicional		20,37a	19,70a	4,39a	40,07b

*, ** - significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo; pelo teste F; CV- coeficiente de variação. FSF – fitomassa seca das folhas; FSC – fitomassa seca do caule; FSR – fitomassa seca da raiz; FSPA – fitomassa seca da parte aérea.

A partir da figura 22 nota-se ajuste dos dados de FSC ao modelo de regressão linear, em função do período de incubação do biocarvão no solo, com redução de 0,10g por aumento unitário, o que proporcionou uma redução de 22,41% quando se elevou o período de 0 para 45 dias.

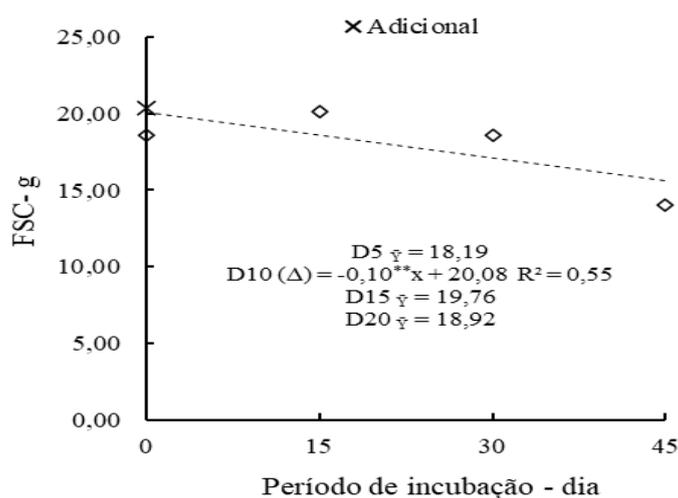


Figura 22. Fitomassa seca do caule – FSC - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão em função do período de incubação.

Os dados de FSR em função das doses de biocarvão se ajustaram ao modelo de regressão linear decrescente (Figura 23), apresentando redução de 31,48% ao elevar de 5 para 20 t.ha⁻¹.

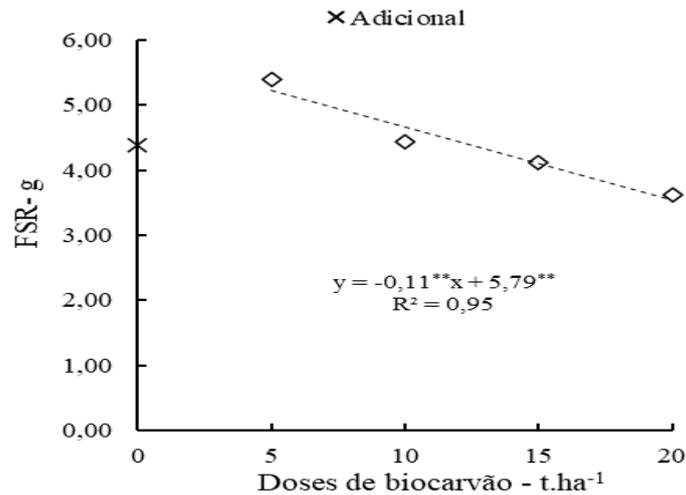


Figura 23. Fitomassa seca da raiz – FSR - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão.

A FSPA teve influência significativa da interação D x I, sendo obtido ajuste dos dados ao modelo de regressão linear crescente, no nível 15 de incubação, em função das doses de biocarvão aplicadas (Figura 24a), enquanto que, para o nível de 10 t.ha⁻¹, em função do período de incubação, o ajuste se deu ao modelo polinomial quadrático (Figura 24b). O maior valor para a FSPA foi estimado para a condição de 15 dias de incubação do solo na dose de 20 t.ha⁻¹ (68,59g).

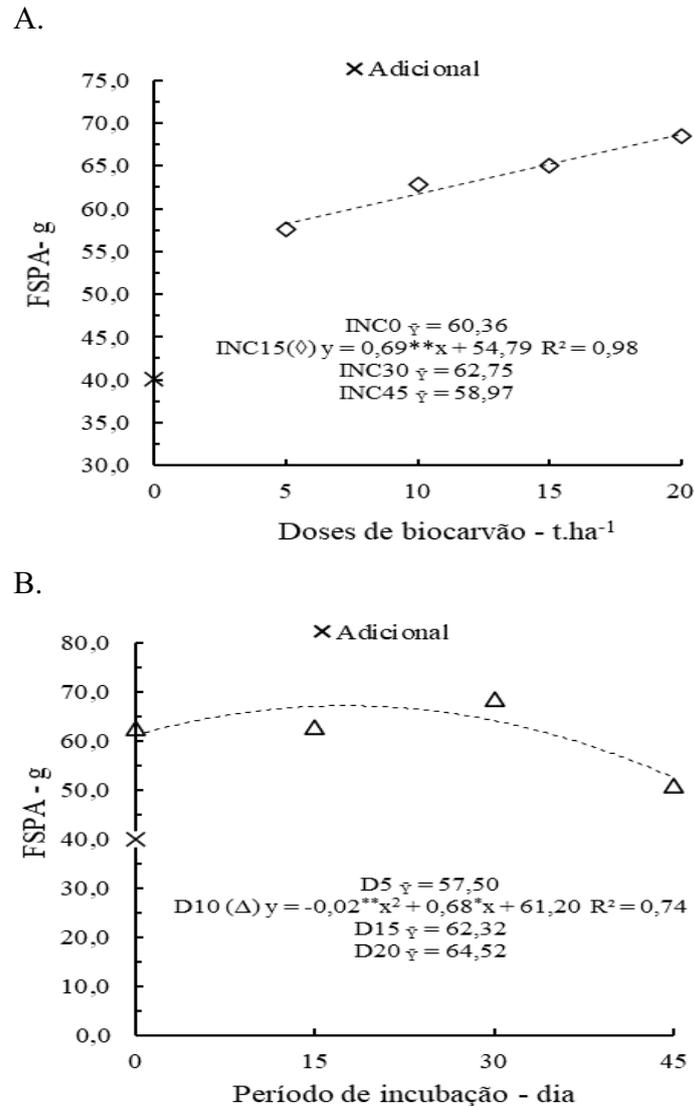


Figura 24. Fitomassa seca da parte aérea – FSPA - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

O uso do biocarvão atuou de forma positiva nas variáveis de acúmulo de biomassa, tanto fresca quanto seca, as quais são os principais meios de avaliação do crescimento dos vegetais. Avaliando diferentes fontes de biocarvão no tratamento de um solo salino-sódico, Santos (2019) observou que o biocarvão aumentou o peso seco da parte aérea de plantas de milho, sendo superior em 10 vezes ao tratamento controle.

Novamente, a matéria orgânica presente no biocarvão pode ser o principal fator que justifica os benefícios, pois quando aplicada no solo com problemas de sais, ocasiona a estabilização da estrutura física, maior capacidade de armazenamento de água, melhorias da taxa de infiltração e respiração das raízes, favorecendo o crescimento das plantas (SILVA et al., 2008).

Segundo Souza et al (2018), o algodoeiro se destaca como uma cultura tolerante à sodicidade do solo. Isso se deve ao fato dessa cultura reduzir os danos causados pelo aumento do sódio trocável e os seus consequentes efeitos deletérios sobre as atividades metabólicas. Para os autores, plantas que desenvolvem mecanismos de tolerância, como redução da atividade metabólica e estruturas especiais como glândulas secretoras, que favorecem o desenvolvimento em condições de estresse, se enquadram nessa categoria (SOUZA et al., 2018).

5.4 Variáveis de desenvolvimento do algodoeiro BRS Aroeira

Os resultados da análise de variância (Tabela 12) mostram efeito expressivo das doses de biocarvão nas variáveis número de dias para emissão do primeiro botão floral ($p < 0,01$), abertura da primeira flor ($p < 0,01$) e do primeiro capulho ($p < 0,05$), enquanto que, para a variável número de maçãs abortadas, houve efeito significativo apenas do fator período de incubação ($p < 0,01$). Em todas as variáveis relacionadas ao desenvolvimento, não houve diferença estatística significativa para os valores entre o fatorial e o tratamento adicional.

Tabela 12. Resumo da análise de variância das variáveis: dias para a emissão do primeiro botão floral (EPBF), abertura da primeira flor (APF) e do primeiro capulho (APC); número de capulhos colhidos (NCC) e abortados (NCA) do algodoeiro BRS Aroeira, cultivado em solo sódico, adubado com biocarvão, em distintos períodos de incubação.

Fator de variação	GL	Quadrado médio				
		EPBF	APF	APC	NCC	NMA
Dose (D)	3	109,02**	77,91**	41,39*	11,74 ^{ns}	6,94 ^{ns}
Incubação (I)	3	2,63 ^{ns}	14,52 ^{ns}	14,06 ^{ns}	3,35 ^{ns}	27,17**
D x I	9	5,34 ^{ns}	17,80 ^{ns}	13,19 ^{ns}	4,13 ^{ns}	11,93 ^{ns}
Fatorial vs. Adicional	1	1,68 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,37 ^{ns}	14,03 ^{ns}	3,13 ^{ns}
Resíduo	34	6,98	17,31	12,98	4,11	5,59
Total	50					
CV (%)		6,51	6,98	3,15	15,04	27,21
Média fatorial		40,56a	59,60a	114,58a	13,23a	8,75a
Média adicional		41,33a	59,67a	113,67a	11,00a	7,67a

*, ** - significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo; pelo teste F; CV- coeficiente de variação. EPBF – emissão do primeiro botão floral; APF – abertura da primeira flor; APC – abertura do primeiro capulho; NCC – número de capulhos colhidos; NMA – número de maçãs abortadas.

Os dados de EPBF em função das doses de biocarvão se ajustaram ao modelo de regressão polinomial quadrático (Figura 25a), estimados em 62,02 e 38,41 dias nas doses de 5 e 15,33 t.ha⁻¹, respectivamente, correspondente a uma redução de 38,07% com o aumento da dose. Para o algodoeiro essa fase de emissão do primeiro botão floral acontece em torno de 25 a 35 dias, dependendo das condições ambientais (LANDIVAR, 1999).

No que se refere a APF, houve ajuste dos dados ao modelo de regressão linear decrescente (Figura 25b), com redução de 7,74% à medida que se elevou a dose de 5 para 20 t.ha⁻¹, sendo estimado o menor valor de 57 dias com a dose D20. Para esta fase da cultura do algodoeiro estima-se que ocorra entre 50 e 70 dias após o semeio (BAKER E LANDIVAR, 1991).

Da mesma forma houve ajuste linear para a variável APC (Figura 25c), neste caso, a redução foi de 2,71% com a elevação da dose de 5 para 20 t.ha⁻¹, valores correspondentes a 116,24 e 113,09 dias, respectivamente.

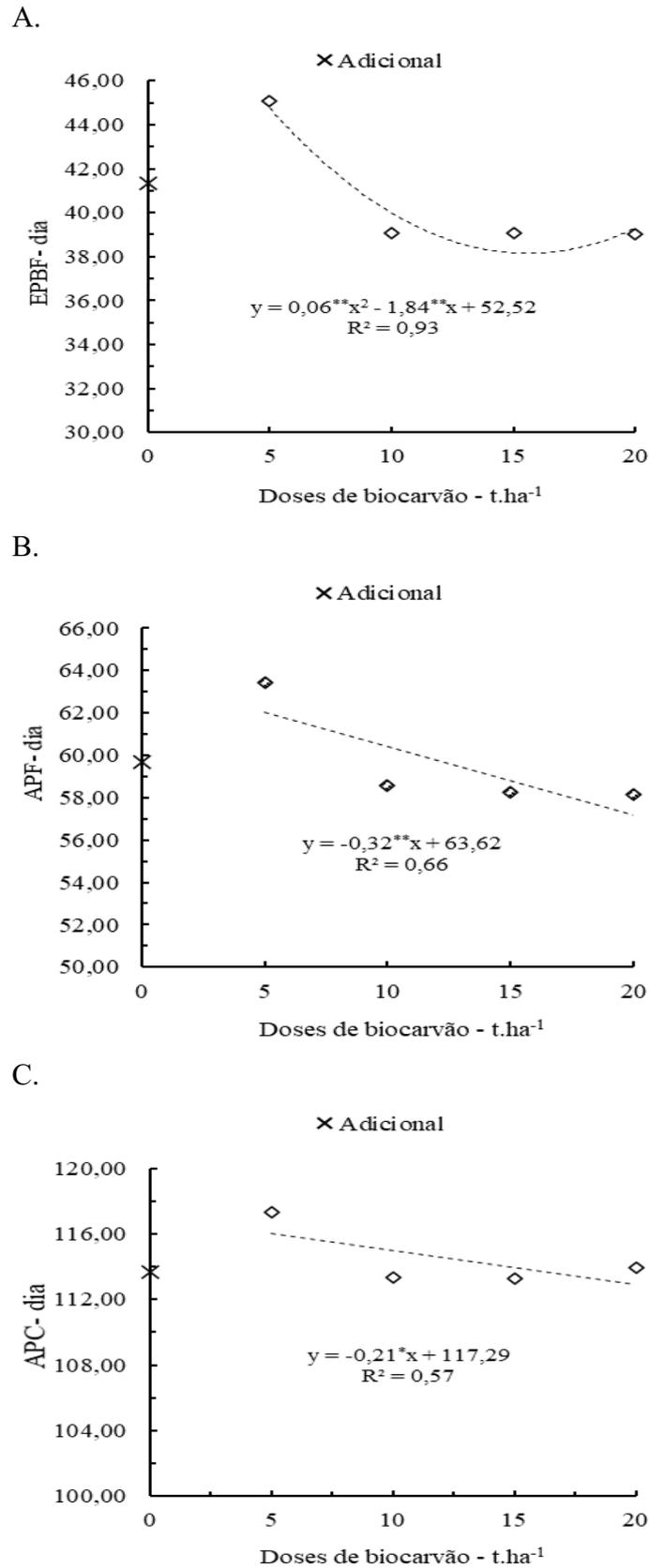


Figura 25. Dias para emissão do primeiro botão floral - EPBF (a), abertura da primeira flor - APF (b) e abertura do primeiro capulho - APC (c) do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocárvão.

A antecipação das fases de desenvolvimento da cultura (EPBF, APF e APC) proporcionada pelas doses mais elevadas de biocarvão, em comparação com as menores doses e com o tratamento adicional, pode ser considerado um evento importante, pois se objetiva sempre alcançar o máximo de rendimento das culturas em períodos de cultivo mais curtos (LIMA et al., 2019). O incremento de matéria orgânica no solo é um fator importante na antecipação das fases de desenvolvimento das culturas, sendo este benefício constatado na literatura (SOUZA et al., 2018; ARAÚJO et al., 2001).

Os dados de NMA em função do período de incubação do biocarvão no solo se ajustaram ao modelo de regressão linear decrescente (Figura 25), tendo uma redução de 34,38% à medida que se elevou o período de incubação de 0 para 45 dias.

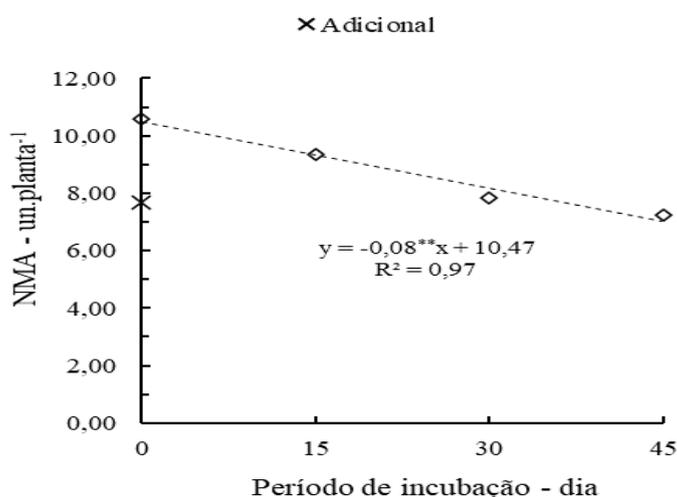


Figura 26. Número de maçãs abortadas – NMA - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico em função do período de incubação do biocarvão no solo.

5.5 Variáveis de produção do algodoeiro BRS Aroeira

A análise de variância das variáveis de produção constatou efeito estatístico significativo ($p < 0,05$) para a produção do algodão em caroço com interação entre os fatores D x I. Para a produção média de algodão em pluma, foram constatados efeitos isolados de D ($p < 0,01$) e I ($p < 0,05$), enquanto que, para peso de 100 sementes, apenas para I (0,05), conforme a tabela 13. Houve ainda diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos do fatorial e o tratamento adicional para peso do algodão em caroço e peso médio do algodão em pluma ($p < 0,01$).

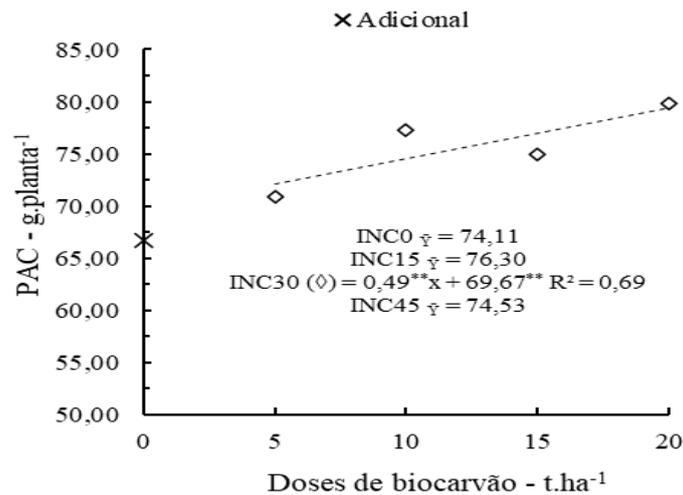
Tabela 13. Resumo da análise de variância das variáveis de produção: produção de algodão em caroço (PAC), peso médio do capulho (PMC), produção média de algodão em pluma (PMAP) e peso de 100 sementes (P100S), do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão, em distintos períodos de incubação.

Fator de variação	GL	Quadrado médio			
		PAC	PMC	PMAP	P100S
Dose (D)	3	165,16**	0,37 ^{ns}	46,17**	0,39 ^{ns}
Incubação (I)	3	12,67 ^{ns}	1,17 ^{ns}	29,77*	1,23*
D x I	9	19,63*	0,50 ^{ns}	6,65 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Fatorial vs. Adicional	1	200,60*	0,35 ^{ns}	89,69**	0,43 ^{ns}
Resíduo	34	24,51	0,68	8,40	0,37
Total	50				
CV (%)		6,63	14,20	9,28	5,12
Média fatorial		75,18a	5,80a	31,55a	11,86a
Média adicional		66,75b	6,15a	25,92a	12,25a

*, ** - significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente; ns - não significativo; pelo teste F; CV- coeficiente de variação.

A estimativa da dose de biocarvão que resultou em maior PAC (79,47 g.planta⁻¹), quando submetido a um período de 30 dias de incubação (Figura 27a), foi de 20 t.ha⁻¹, o que representou uma elevação de 10,19% em relação ao valor da dose de 5 t.ha⁻¹ (72,12 g.planta⁻¹), sendo o maior valor obtido. Em média, as plantas do fatorial obtiveram 75,18 g.planta⁻¹ de algodão em caroço, 12,63% superior ao tratamento adicional (66,75 g.planta⁻¹).

A.



B.

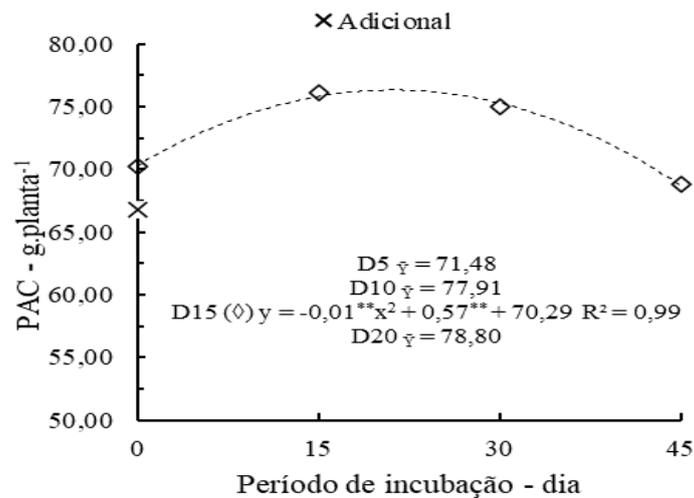
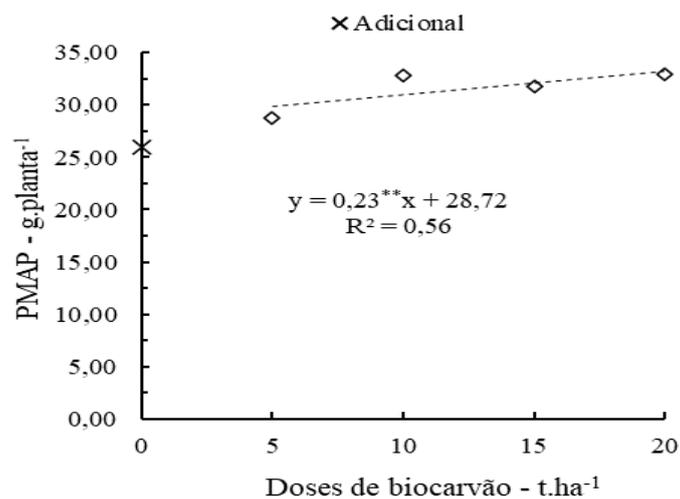


Figura 27. Peso de algodão em caroço – PAC - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

Os dados de PMAP em função das doses de biocarvão (Figura 28a) e do período de incubação (Figura 28b) se ajustaram ao modelo de regressão linear crescente, com incremento de 11,55% com a elevação da dose de 5 para 20 t.ha⁻¹(33,32 g), e de 10,47% com o aumento do período de incubação de 0 para 45 dias (33,23 g). Avaliando o rendimento em fibra do algodoeiro a partir da relação entre os valores médios de produção do algodão em caroço e em pluma, observou-se valores de 41,97 e 38,83 %, respectivamente, para as plantas do fatorial e do tratamento adicional, condizentes com o esperado para a BRS Aroeira (39,85 % de pluma), conforme Freire et al. (2009).

A.



B.

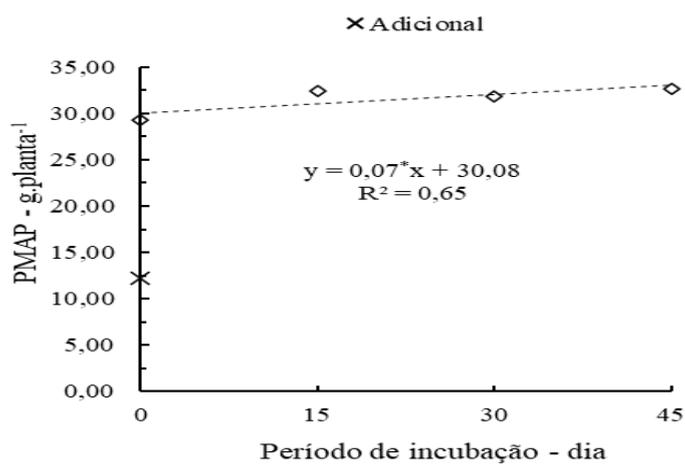


Figura 28. Peso médio de algodão em pluma – PMAP - do algodoeiro BRS Aroeira cultivado em solo sódico adubado com biocarvão (a) em distintos períodos de incubação (b).

Para P100S, os dados em função do período de incubação se ajustaram ao modelo de regressão polinomial quadrático (Figura 29), com valor máximo estimado de 12,18g com um período de 25 dias de incubação do biocarvão no solo.

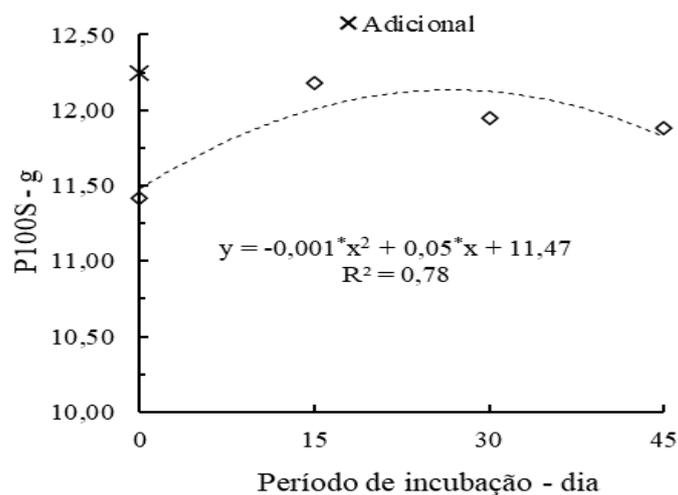


Figura 29. Peso de 100 sementes do algodão BRS Aroeira em função do período de incubação do biocarvão no solo.

Os ganhos de produção proporcionados pelo biocarvão, com base nas respostas positivas das variáveis PAC e PMAP, demonstram os benefícios potenciais em relação ao seu uso em solo com problema de sodicidade, já no primeiro ciclo de cultivo. Resultados semelhantes foram encontrados por Dalto et al (2020) e Deluca et al. (2015), os quais observaram efeito significativo do biocarvão já no primeiro ciclo de cultivo do milho e do arroz, respectivamente. Esses benefícios dependem das condições experimentais, das características dos solos e de outros fatores ainda não elucidados totalmente pela ciência, além disso, os ganhos em produtividade podem não aparecer no primeiro ano após a aplicação do biocarvão, conforme afirmação de Major et al. (2010), aumentos significativos na produtividade a partir do segundo ano de cultivo.

6. CONCLUSÕES

1. O uso do biocarvão de biomassa de coco na remediação do solo sódico foi capaz de reduzir os parâmetros químicos e de salinidade do solo: pH_{solo} , pH_{es} , CE_{solo} , CE_{es} , $\text{Na}^+_{\text{solo}}$ e K^+_{es} . No entanto, elevou os teores de Na^+_{es} e K^+_{solo} . De modo geral, esse condicionador proporcionou bons resultados em comparação ao tratamento adicional;
2. A condutividade hidráulica saturada do solo foi fortemente elevada com a utilização do biocarvão em comparação ao tratamento adicional, sendo o maior valor obtido na dose de 14 t.ha^{-1} com 15 dias de incubação no solo. Ademais, ocorreu elevação da densidade do solo à medida em que as doses de biocarvão elevaram e os períodos de incubação, com todos os valores superiores ao do tratamento adicional;
3. Houve influência significativa das doses de biocarvão aplicadas em todos os períodos avaliados sobre as variáveis biométricas do algodoeiro. E ao final da fase de crescimento, positiva para: diâmetro do caule, altura da planta, número de folhas e área foliar, na dose de 20 t.ha^{-1} , entretanto, o aumento do período de incubação provocou efeito inverso. O tratamento adicional mostrou-se inferior em todas essas variáveis aos 90 dias após o semeio com exceção da altura da planta;
4. Em relação às variáveis relacionadas à fitomassa observou-se efeito do biocarvão em: fitomassa fresca das folhas, fitomassa fresca do caule, fitomassa fresca da parte aérea, fitomassa seca das raízes e da parte aérea, enquanto que o período de incubação afetou as variáveis: fitomassa fresca do caule, fitomassa fresca da parte aérea e fitomassa seca do caule. O solo tratado com biocarvão apresentou valores superiores das variáveis fitomassa fresca das folhas e fitomassa seca da parte aérea, em relação ao tratamento adicional;
5. O desenvolvimento do algodoeiro, representado pelas variáveis: emissão do primeiro botão floral, abertura da primeira flor e abertura do primeiro capulho foi influenciado pelo uso do biocarvão, porém, não diferindo estatisticamente do tratamento adicional. O período de incubação do biocarvão no solo influenciou a variável número de maçãs abortadas;
6. O biocarvão afetou as variáveis de produção do algodoeiro produção de algodão em caroço e produção de algodão em pluma, enquanto que a produção de algodão em pluma e o peso de 100 sementes sofreram influência apenas do período de

incubação no solo. Além disso, proporcionou uma produção de algodão em caroço superior ao das plantas do tratamento adicional; e

7. De modo geral, o biocarvão mostrou-se um condicionador eficiente para tratar solo com problema de sodicidade, igualando-se ou mostrando-se superior ao carbonato de cálcio em diversas variáveis. Dessa forma, faz-se necessário um estudo mais aprofundado do seu efeito residual no solo e dos possíveis benefícios a longo prazo sobre as propriedades físicas, químicas, hidrodinâmicas e de salinidade do solo, bem como sobre o crescimento e a produção do algodoeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, A.; Khan, S.; Hussain, N.; Hanjra, M. A.; Akbar, S. Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 55, p. 43-52, 2013.

Abbas, T.; Rizwan, M.; Ali, S.; Adrees, M.; Zia-ur-rehman, M.; Gayyum, M. F.; Ok, Y.S.; Murtaza, G. Effect of biochar on alleviation of cadmium toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on Cd-contaminated saline soil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 25668-25680, 2017.

Abrapa - Associação Brasileira Dos Produtores de Algodão. Relatório de safra: Principais indicadores da temporada de exportações de algodão 2020/2021. **Disponível em:** https://www.abrapa.com.br/SiteAssets/Lists/Noticias/NewForm/Relat%C3%B3rio%20de%20Safr%C3%A1%20-%201%C2%AA%20quinzena_abril_08.04.2021.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2021.

Abrol, V.; Ben-Hur, M.; Verheijen, F. G.; Keizer, J. J.; Martins, M. A.; Tenaw, H.; Graber, E. R. Biochar effects on soilwater infiltration and erosion under seal formation conditions. **Soils Sediments**, v. 16, p. 2709-2719, 2016.

Akhtar, S. S.; Andersen, M. N.; Liu, F. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. **Agricultural Water Management**, v. 158, p. 61-68, 2015.

Ali, S.; Rizwan, M.; Qayyum, M. F.; Ok, Y. S.; Ibrahim, M.; Riaz, M.; Shahzad, A. N. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 14, p. 12700-12712, 2017.

Amini, S.; Ghadiri, H.; Chen, C.; Marschner, P. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. **Journal of Soils and Sediments**, v. 16, n. 3, p. 939-953, 2016.

Araújo, J. S.; De Oliveira, A. P.; Da Silva, J. A. L.; Ramalho, C. I.; Neto, F. L. C. Rendimento do feijão-vagem cultivado com esterco suíno e adubação mineral. **Revista Ceres**, v. 48, n. 278, p.501-510, 2001.

- Araújo, M. M. D.; Sousa, G. D. M.; Rodrigues, L. R. C. C. Técnicas utilizadas na recuperação de solos afetados por sais. **Revista de Agroecologia no Semiárido**, Sousa, PB, v. 1, p. 01-11, 2017.
- Araújo, W. P., Pereira, J. R., de ALMEIDA, E. S. A. B., Guerra, H. O., Bezerra, J. R., & Zonta, J. H. Resposta fitotécnica do algodoeiro herbáceo BRS 8H, BRS Araripe e BRS Aroeira sob lâminas de água. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.28 n.1, p.67-72, 2013.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Ed. Campina Grande, PB: UFPB, 1999. 153 p. (FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29).
- Azevedo, P. R. L.; Bezerra, D. E. L.; Souto, F. M.; Bitu, S. G.; Pereira Junior, E. B. Efeitos dos sais e da qualidade da água no solo e na planta. **Revista Agroecologia no Semiárido**, Sousa - PB, p. 01-12, jun. 2017.
- Baker, D.N.; Landivar, J.A. Simulation of plant development in Gossypium. In: Hodges, H.F. (ed.). Cotton Physiology. Memphis: **The Cotton Foundation**, p.245-257, 1991.
- Barbosa, J. L.; Nobre, R. G.; Souza, L. D. P.; de Sa Veloso, L. L.; Da Silva, E. L.; Guedes, M. A. Crescimento de algodoeiro colorido cv. BRS Topázio em solos com distintas salinidades e adubação orgânica. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.1, 206-213, 2019.
- Barros, M. D. F. C.; Bebé, F. V.; Dos Santos, T. O.; Campos, M. C. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de biologia e ciência da terra**, v. 9, n. 1, p. 77-82, 2009.
- Batista, E. M.; Shultz, J.; Matos, T. T.; Fornari, M. R.; Ferreira, T. M.; Szpoganicz, B.; Mangrich, A. S. Effect of surface and porosity of biochar on water holding capacity aiming indirectly at preservation of the Amazon biome. **Nature**, v. 8, p. 10677, 2018.
- Baker, D. N.; Landivar, J. A. Simulation of plant development in gossypium. In: Hodges, T. ed. Predicting crop phenology. Boca Raton: CRC Press, 1991.
- Bender, E. P.; Batista, J. N.; Lyra, G. B.; Polidoro, J. C.; Jantalia, C. P. Modelagem do crescimento e produtividade do algodão em cultivo comercial no cerrado baiano. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.
- Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. **Jaboticabal: Funep**, 1988. 41p.

- Bezerra, J. R. C.; Zonta, J. H.; Rodrigues, J. P. Manejo da irrigação. In: Borém, A.; Freire, E. C. (Ed.). **Algodão: Do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2014. cap.13, p. 271-294.
- Borém, A.; Freire, E. C. Algodão do plantio a colheita. **Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil**, 2014.
- Bresler, E.; Mcneal, B. L.; Carter, D. L. Saline and sodic soils: principles-dynamics-modeling. 1.ed. New York: **Springer Science & Business Media**, 2012.
- Cao, X.; Ma, L.; Gao, B.; Harris, W. Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. **Environmental science & technology**, v. 43, n. 9, p. 3285-3291, 2009.
- Carvalho, M. da; Ferreira, G. B.; Staut, L. A. **Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro**. In: In: Freire, EC (Ed.). Algodão no cerrado do Brasil. 2. ed.rev. ampl. Brasília, DF: ABRAPA, p. 677-752, 2011.
- Cavalcante, L. F. Solos afetados por sais e seu manejo. Areia: **SBCS**, 1989. 38p.
- Cavalcante, L. F.; Santos, R. V. dos; Ferreyra F. F. H.; Gheyi, H. R.; Dias, T. J. Recuperação de solos afetados por sais. In: In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, **INCTSal**, p. 426-448, 2010.
- Chaganti, V. N.; Crohn, D. M.; Šimůnek, J. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. **Agric. Water Manag**, v. 158, p. 255-265, 2015.
- Chambers, J. Software for data analysis: programming with R. **Springer Science & Business Media**. New York: Springer 2008.
- Cooper, J.; Greenberg, I.; Ludwig, B; Hippich, L.; Fischer, D.; Glaser, B.; Kaiser, M. Effect of biochar and compost on soil properties and organic matter in aggregate size fractions under field conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 295, p. 106882, 2020.
- Dalto, P. H.; de Oliveira Gonçalves, F.; da Silva, E. G.; de Sena, A. F. S.; Barreira, H. M.; dos Santos, M. R. Uso de biocarvão como condicionador de solo e sua influência na produtividade do milho e feijão. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 3937-3943, 2020.

De Queiroz, S. O. P.; Testezlaf, R.; Matsura, E. E. Metodologia para avaliação da salinidade do solo em ambiente protegido. **Irriga**, v. 14, n. 3, p. 383-397, 2009.

DeLuca, T. H.; Gundale, M. J.; MacKenzie, M. D.; Jones, D. L. Biochar effects on soil nutrient transformations. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**, v. 2, p. 421-454, 2015.

Devens, K. U.; Pereira Neto, S.; Oliveira, D. L.; Gonçalves, M. S. Characterization of biochar from green coconut shell and orange peel wastes. **Revista Virtual De Quimica**, v. 10, p. 288-294, 2018.

Dias, N. S.; Blanco, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCTSal**, p. 130-141, 2010.

Dos Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Dos Anjos, L. H. C.; De Oliveira, V. A.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Cunha, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

Dos Santos, W. M.; Gonzaga, M. I. S.; da Silva, J. A.; de Almeida, A. Q.; de Jesus Santos, J. C.; Gonzaga, T. A. S.; Araújo, E. M. Effectiveness of different biochars in remediating a salt-affected Luvisol in Northeast Brazil. **Biochar**, v. 3, n. 2, p. 149-159, 2021.

Drake, J. A.; Cavagnaro, T. R.; Cunningham, S. C.; Jackson, W. R.; PATTI, A. F. Does biochar improve establishment of tree seedlings in saline sodic soils?. **Land Degradation & Development**, v. 27, p. 52–59, 2016.

Freire, M. B. G. S.; Freire, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. **Fertilidade do solo**, p. 929-951, 2007.

Freire, E. C.; Beltrão, N. D. M.; Vale, D. Cultivar BRS Aroeira (Elevado teor de Óleo) e o seu manejo cultural. 2.ed. Campina Grande: **Embrapa Algodão**, 2009.

Furtado, D. A.; Rocha, H. P.; Nascimento, J. W.; Silva, J. H. Índices de conforto térmico e concentração de gases em galpões avícolas no semiárido Paraibano. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p. 993-1002, 2010.

Gheyi, H. R.; Azevedo, N. C. de; Batista, M. A. F.; Santos, G. J. S.; Sale, P. W. G; TANG, C. Amelioration of dense sodic subsoil using organic amendments increases wheat yield

more than using gypsum in a high rainfall zone of southern Australia. **Field Crops Research**, v. 107, p. 265-275, 2008.

Glaser, B.; Haumaier, L.; Guggenberger, G.; Zech, W. The 'Terra Preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37-41, 2001.

Gonçalves, M.; Martins, J.; Ramos, T. A salinização do solo em Portugal: causas, extensão e soluções. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 574-586, 2015.

Grimes, D. W.; Carter, L. M. A linear rule for direct nondestructive leaf area measurements 1. **Agronomy Journal**, v. 61, n. 3, p. 477-479, 1969.

Gupta, B.; Huang, B. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. **International Journal of genomics**, v. 2014, 2014.

Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C. Qualidade da água para irrigação. In: In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p. 44-61, 2010.

Hong, S. C.; Yu, S. Y.; Kim, K. S.; Lee, G. H.; Song, S. N. Effects of biochar on early growth and nutrient content of vegetable seedlings. **Korean Journal Environmental Agriculture**, v. 39, n. 1, p. 50-57, 2020.

ICAC, International Cotton Advisory Committee, Washington, 2019.

Jácome, A. G.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Gonçalves, A. C. A.; Silva, F. F. da. Avaliação de genótipos de algodoeiro sob níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9 (Suplemento), p.365-369, 2005.

Kim, H. S.; Kim, K. R.; Yang, J. E.; Ok, Y. S.; Owens, G.; Nehls, T.; Wessolek, G.; Kim, K. H. Effect of biochar on reclaimed tidal land soil properties and maize (*Zea mays* L.) response. **Chemosphere**, v. 142, p. 153–159, 2016.

Landivar, J.; Vieira, R. de M.; Beltrão, N. E. de M. Monitoramento do algodão. Embrapa Algodão. (campina Grande PB). O agronegócio do algodão no Brasil/ Embrapa Algodão, organizador- Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia, 1999. 2v.1023p.

- Lashari, M. S.; Ye, Y.; Ji, H.; Li, L.; Kibue, G. W.; Lu, H.; Zheng, J.; Pan, G. Biochar–manure compost in conjunction with pyroligneous 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, p. 1321–1327, 2015.
- Leal, I. G.; Accioly, A. M. A.; Nascimento, C. W. A.; Freire, M. B. G. S.; Montenegro, A. A. A.; Ferreira, F. L. Fitorremediação de Solo Salino Sódico por *Atriplex nummularia* e Gesso de Jazida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1065-107, 2008.
- Lima, G. S. de; Dias, A. S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Nobre, R. G.; Silva, F. de A. F. D. da. Nitrate and ammonium proportions in sesame cultivation under irrigation with saline waters. **Comunicata Scientiae**, v.9, n.4, p.718-728, 2019.
- Lima, I. S.; Gonzaga, M. I. S.; Almeida, A. Q.; Massaranduba, W. Lixiviação de íons em argissolo amarelo tratado com biocarvão de casca de coco seco e cultivado com girassol (*Helianthus annus L.*). **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v.11, nº.7, p. 1956 - 1965, 2017.
- Lima, V. L. A. Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) em condições de lisímetro de drenagem. Viçosa: UFV, 1998. 87p. **Tese de Doutorado**.
- Lin, X. W.; Xie, Z. B.; Zheng, J. Y.; Liu, Q.; Bei, Q. C.; Zhu, J. G. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. **European Journal of Soil Science**, v. 66, p. 329–338, 2015.
- Liu, S.; Meng, J.; Jiang, L.; Yang, X.; Lan, Y.; Cheng, X.; Chen, W. (). Rice husk biochar impacts soil phosphorous availability, phosphatase activities and bacterial community characteristics in three different soil types. **Applied Soil Ecology**, v. 116, 12-22. 2017.
- Luo, X., Liu, G., Xia, Y., Chen, L., Jiang, Z., Zheng, H., & Wang, Z. 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.
- Magalhães, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: Ferri, M. G. Fisiologia Vegetal. **São Paulo: EPU/EDUSP**, 1979. p. 333-350.

Major, I.; Sales, J. C. Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável. Disponível em <<http://www.fdr.com.br/mudancasclimaticas/index.php>> acessado em 20 de agosto de 2020, v.16, 2012.

Major, J.; Rondon, M.; Molina, D.; Riha, S. J.; Lehmann, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna Oxisol. **Plant and Soil**, v.333, p.117-128, 2010.

Mangrich, A. S.; Maia, C. M. B. F.; Novotny, E. H. Biocarvão - As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, v. 47, p. 48-52, 2011.

Marcelino, A. D. A. de L. Comportamento de genótipos de algodoeiro submetidos a estresse salino. Campina Grande: UEPB, 2018. 55p. **Dissertação de Mestrado**.

Masters, D. G., Benes, S. E., & Norman, H. C. Biosaline agriculture for forage and livestock production. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 119, n. 3-4, p. 234-248, 2007.

Medeiros, A. M. M. T.; Silva, M. P.; Medeiros, R. M., Lima, R. C. C. Mudanças Climáticas em Campina Grande-PB-Um Estudo Sobre o Aquecimento Urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 2, p. 278-285, 2011.

Melo, R. M., Barros, M. D. F., Santos, P. M. D., & Rolim, M. M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 376-380, 2008.

Mesquita, E.F.; Chaves, L.H.; Freitas, B.V.; Silva, G.A.; Sousa, M.V.R. & Andrade, R.A. Produção de mudas de mamoneira em função de substratos contendo esterco bovino e volumes de recipientes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 7, n. 1, p. 58-65, 2012.

Mesquita, E. F.; Sá, F. V. S.; Bertino, A. M. P.; Cavalcante, L. F.; Paiva, E P.; Ferreira, N. M. Effect of soil conditioners on the chemical attributes of a saline sodic soil and on the initial growth of the castor bean plant. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 2527-2538, 2015.

Miranda, M. A.; Oliveira, E. E. M. de, Santos, K. C. F. dos; Freire, M. B. G. S.; Almeida, B. G. de. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em

casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 484–490, 2011.

Obia, A.; Mulder, J.; Martinsen, V.; Cornelissen, G.; Borresen, T. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 35–44, 2016.

Oliveira, N. M.; Amancio, D.; Dantas, R.T.; Furtado, D.A. Casa de vegetação para o cultivo de alface. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 28, n. 2, p. 126-131, 2013.

Orgaz, F.; Bonachela, S.; Mateos, L.; Fereres, E. Desarrollo fenológico y producción de cultivares de algodón en el valle del Guadalquivir bajo diversos regimenes de riego. **Investigacion Agraria: Produccion y proteccion vegetales**, v.6, n.1, p.53-67, 1991.

Projeto algodão paraíba dá novo impulso à cultura e se projeta internacionalmente. **Portal governo da Paraíba**, João Pessoa, 2019. Disponível em: <<https://paraiba.pb.gov.br/noticias/projeto-algodao-paraiba-da-novo-impulso-a-cultura-e-se-projeta-internacionalmente>>. Acesso em: setembro de 2019.

Pedrotti, A.; Chagas, R. M.; Ramos, V. C.; Prata, A. P. DO N.; Lucas, A. A. T.; Santos, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

Peng, X. Y. L. L.; YE, L. L.; Wang, C. H.; Zhou, H.; Sun, B. Temperature-and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. **Soil and Tillage Research**, v.112, n.2, p.159-166, 2011.

Petter, F. A.; Madari, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 761- 768, 2012.

Pietikäinen, J.; Kiiikkilä, O.; Fritze, H. Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. **Oikos**, v. 89, n. 2, p. 231-242, 2000.

Pizzaro, F. Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos. 2ª. ed. Madrid: **Editora Agrícola Espanola**, 1978, 521p.

Qadir, M; Oster, J. D.; Schubert, S.; Noble, A. D.; Sahrawat, K. L. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. **Advances in agronomy**, v. 96, p. 197-247, 2007.

Qureshi, A. S., & Daba, A. W. Evaluating Growth and Yield Parameters of Five Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) Genotypes Under Different Salt Stress Conditions. **J. Agric. Sci**, v. 12, p. 128, 2020.

Rafiq, M. K.; Bachmann, R. T.; Rafiq, M. T.; Shang, Z.; Joseph, S. Long, R. Influence of pyrolysis temperature on physico-chemical properties of corn stover (*Zea mays* L.) biochar and feasibility for carbon capture and energy balance. **PloS one**, v. 11, n. 6, p. e0156894, 2016.

Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R., & Lehmann, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, n. 3, p. 271-284, 2012.

Recare. (2018). Soil Salinization. Recare-Hub: Disponível em: <<https://www.recare-hub.eu/soil-threats/salinization>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

Ribeiro, M. R. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. **Manejo da Salinidade na Agricultura**. Fortaleza: INCTSal, 2010. p. 11-19.

Richards, L. A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook 60. **Washington: USDA US Printing Office**, 1954. 5p.

Ruiz, H. A.; Sampaio, R. A.; Oliveira, M. DE; Ferreira, P. A. Características físicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 6, n. 3, p. 1-12, 2006.

Santos, P. M. D.; Rolim, M. M.; Duarte, A. S.; Barros, M. D. F. C.; Silva, Ê. F. D. F. Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. **Revista de pesquisa agropecuária tropical**, v. 44, n. 1, p. 95-103, 2014.

Silva, E.C.; Nogueira, R.J.M.C.; Araújo, F.P.; Melo, N.F.; Azevedo Neto, A.D. de. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. **Environmental and Experimental Botany**, vol. 63, n. 1-3, p. 147-157, 2008.

Soares, T. F. S. N.; da Silva Lima, I.; de Almeida, A. Q.; da Silva Gonzaga, M. I.; Fialho, C. A.; Gomes, I. L. R.; de Melo Massaranduba, W. Substrates Formulated with Biochar for Seedling Production of *Moringa oleifera* Lam. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 4, 2019.

- Song, X. D.; Xue, X. Y.; Chen, D. Z.; He, P. J.; Dai, X. H. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. **Chemosphere**, v. 109, p. 213-220, 2014.
- Souza, L. P.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Soares, L. A. A. Emergence, growth, and production of colored cotton subjected to salt stress and organic fertilization. **Revista Caatinga**, v.31, p.719-729, 2018.
- Sun, H.; Hockaday, W. C.; Masiello, C. A.; Zygourakis, K. Multiple controls on the chemical and physical structure of biochars. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 51, n. 9, p. 3587-3597, 2012.
- Sun, H.; Lu, H.; Chu, L.; Shao, H.; Shi, W. Biochar applied with appropriate rates can reduce N leaching, keep N retention and not increase NH₃ volatilization in a coastal saline soil. **Science Total Environmental**, n.575, p.820–825, 2017.
- Sun, J., He, F., Shao, H., Zhang, Z., & Xu, G. Effects of biochar application on Suaeda salsa growth and saline soil properties. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n.8, p. 630, 2016.
- Taiz, L., & Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. In: Fisiologia vegetal. 2009. p. 848-848.
- Tavares Filho, A. N.; Barros, M. D. F.; Rolim, M. M.; Silva, Ê. F. D. F. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 247-252, 2012.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Embrapa. 573p, 2017.
- Usman, A. R. A.; Al-Wabel, M. I.; Abdulaziz, A. H.; Mahmoud, W. A.; El-naggar, A. H.; Ahmad, M.; Abdulrasoul, A. O. Conocarpus biochar induces changes in soil nutrient availability and tomato growth under saline irrigation. **Pedosphere**, v. 26, p. 27-38, 2016.
- Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Morris, S.; Chan, K. Y.; Downie, A.; Rust, J.; Cowie, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant Soil**, v. 327, p. 235-246, 2010.
- Verheijen, F.; Jeffery, S.; Bastos, A. C.; Velde, M. V. D.; Diafas, I. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. **EUR**, v. 24099, p. 162, 2010.
- Wakeel, A. Potassium–sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, p. 344–354, 2013.

- Wang, X. X.; Liu, S.; Zhang, S.; Li, H.; Maimaitiaili, B.; Feng, G.; Rengel, Z. Localized ammonium and phosphorus fertilization can improve cotton lint yield by decreasing rhizosphere soil pH and salinity. **Field crops research**, v. 217, p. 75-81, 2018.
- Yan, N.; Marschner, P.; Cao, W.; Zuo, C.; Qin, W. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 4, p. 316-323, 2015.
- Yue, Y.; Guo, W.; Lin, Q.; Li, G.; Zhao, X.; Wu, G. Salt leaching in the saline soil relative to rate of biochar applied. **Acta Pedologica Sinica**, v. 51, n. 4, p. 914-919, 2014.
- Yue, Y.; Guo, W. N.; Lin, Q. M.; Li, G. T.; Zhao, X. R. Improving salt leaching in a simulated saline soil column by three biochars derived from rice straw (*Oryza sativa* L.), sunflower straw (*Helianthus annuus*), and cow manure. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 71, n. 6, p. 467-475, 2016.
- Zhang, A.; Liu, Y.; Pan, G.; Hussain, Q.; Li, L.; Zheng, J.; Zhang, X. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. **Plant and Soil**, v. 351, p. 263–275, 2012.
- Zhang, H.; Chen, C.; Gray, E. M.; Boyd, S. E.; Yang, H.; Zhang, D. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: A phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. **Geoderma**, v. 276, p. 1-6, 2016.
- Zhang, L.; Ma, H.; Chen, T.; Pen, J.; Yu, S.; Zhao, X. Morphological and physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants to salinity. **PLoS One**, v. 9, n. 11, p. 1-14, 2014.
- Zheng, H.; Wang, X.; Chen, L.; Wang, Z.; Xia, Y.; Zhang, Y.; Wang, H.; Luo, X.; Xing, B. 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.
- Zhu, J. K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 2, p. 66-71, 2001.
- Zonta, J. H.; Brandão, Z. N.; Sofiatti, V.; Bezerra, J. R. C.; Medeiros, J. D. C. Irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in semi-arid environment. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 1, p. 118-126, 2016.