



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

MARIA EUGÊNIA DA COSTA

**EFEITO DO BIOCHAR E DE ÁGUAS SALINAS SOBRE O CRESCIMENTO E
NUTRIÇÃO DO MILHO E NA SALINIDADE DO SOLO**

MOSSORÓ – RN

2017

MARIA EUGÊNIA DA COSTA

**EFEITO DO BIOCHAR E DE ÁGUAS SALINAS SOBRE O CRESCIMENTO E
NUTRIÇÃO DO MILHO E NA SALINIDADE DO SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte dos requisitos para a obtenção do Título de “Doutora em Manejo de Solo e Água”.

Orientador: Prof. D. Sc. Neyton de Oliveira Miranda
- UFERSA

MOSSORÓ – RN

2017

MARIA EUGÊNIA DA COSTA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte dos requisitos para a obtenção do Título de “Doutora em Manejo de Solo e Água”.

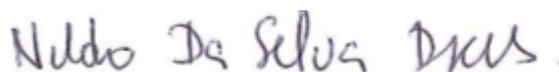
APROVADA EM: 31 de Agosto de 2017

BANCA EXAMINADORA



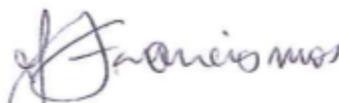
Prof. D. Sc. Neyton de Oliveira Miranda (UFERSA)

Orientador



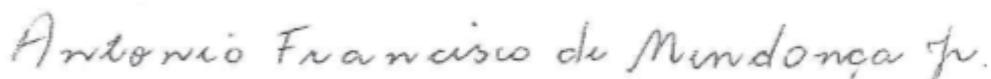
Prof. D. Sc. Nildo da Silva Dias (UFERSA)

Examinador



Prof. D. Sc. José Francismar de Medeiros (UFERSA)

Examinador



Prof. D. Sc. Antônio Francisco de Mendonça Júnior (UFCEG)

Examinador



Prof. D. Sc. Cristiano Rebouças Cosme (UFERSA)

Examinador

Ofereço

Aos meus pais Gaudêncio e Maria da Conceição; aos meus irmãos que sempre apoiaram meus estudos, contribuindo não só com educação, mas na minha formação moral, intelectual e espiritual.

Dedico

A Deus, pelo dom da vida. As pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram de alguma maneira para a conclusão desse trabalho; em especial a Cristiane Celedônio e Jamil Pereira, que sempre estiveram ao meu lado apoiando, incentivo e ajudando a superar cada desafio.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo Dom da vida e proteção espiritual.

À Universidade Federal Rural do Semiárido, ao Programa de pós-graduação em Manejo de Solo e Água e ao Departamento de Ciências do Solo pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado e execução da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em salinidade (INCTSAL) pelo apoio financeiro e equipamentos utilizados para realização das análises.

Ao Professor orientador e amigo Neyton Miranda, por me permitir o privilégio de suas orientações ao longo dessa caminhada, pessoa admirável, de uma infinita competência e generosidade. Obrigada por todos os ensinamentos transmitidos, pelo apoio, ajuda e confiança que sempre foi me dada;

Ao professor José Francismar de Medeiros, pela orientação, sabedoria e seriedade no desenvolvimento da pesquisa.

Aos membros da Banca examinadora pelas sugestões e contribuição na melhoria da qualidade do trabalho.

Aos professores dos Programas de Pós-Graduação em Manejo de Água e Solo e Fitotecnia e pela contribuição científica durante as aulas ministradas, em especial ao professor Marcelo Tavares, ao qual tenho imensa admiração e gratidão.

Aos colegas de Pós-graduação da UFERSA pelo companheirismo ao longo do curso.

As minhas amigas Isabel Giovana, Ana Paula Rodrigues e Joice Reis pela amizade, cumplicidade e carinho especial dedicado durante todos os momentos que convivemos, e ficou para toda vida!

Aos funcionários do LASAP, em nome de Ana Kaline, Seu Elídio, Seu Tomaz, Dona Maria José que contribuíram com a colaboração nas análises laboratoriais.

Aos colegas de pesquisa em nome de Diorge França, Juliana, Jorgiana Lima, Kaline Ávila, Claudia Melo, Joseany Costa, Monalisa Martins, Jonathan Levi, pela inestimável e fundamental ajuda nas coletas de campo e análises laboratoriais, além do convívio e amizade;

Aos meus pais Gaudêncio e Conceição que com muito esforço e dedicação não mediram forças para me ajudar e apoiar a chegar até aqui, me educaram e me conduziram sempre para os melhores caminhos.

Aos meus irmãos: Edesio, Elmar, Elinilda, Elza e Erinaldo por todo apoio e ajuda, as referências da minha vida;

A Cristiane Celedônio e Jamil Francisco, pessoas que Deus colocou no meu caminho durante essa jornada, pelo apoio, incentivo e companheirismo, tornaram-se especiais para toda vida!

Enfim, A todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS!

Se não houver frutos,
Valeu a beleza das flores
Se não houver flores
Valeu a sombra das folhas
Se não houver folhas
Valeu a intenção da semente
(Henfil)

E apesar de tudo, o Senhor estava
sempre ao meu lado, segurando
bem firme a minha mão.

(Salmos 73:23)

RESUMO

Tendo em vista a baixa produtividade do milho no Rio Grande do Norte, atribuída a fatores como o clima e a degradação de água e solo, na qual está incluída a salinização, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de biochar em mitigar os efeitos da salinidade da água em diferentes solos da região oeste do estado cultivados com milho. Para isso, foram aplicadas quatro doses de biochar (0; 0,5; 1,0 e 1,5%) e águas de três níveis de salinidade (0,57; 2,65 e 4,50 dS m⁻¹) em três tipos de solos (Argissolo, Cambissolo e Neossolo Flúvico). Foram realizados três experimentos, um para cada tipo de solo, contido em colunas, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, no campus oeste da Universidade Federal Rural do Semiárido, UFERSA, em Mossoró-RN. As determinações foram realizadas aos 40 dias após emergência do milho e consistiram de massa seca da parte aérea (MSPA) e seus teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, pH e condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) dos solos. Os dados foram submetidos à análise de variância e análise de regressão. O benefício do biochar em mitigar o efeito da salinidade da água sobre a MSPA foi observado no Argissolo e no Neossolo Flúvico, neste último quando a água de salinidade intermediária foi aplicada. A aplicação de biochar em conjunto com águas salinas beneficiou a absorção de nutrientes pelas plantas de milho, mas este benefício foi dependente do tipo de solo e da dose de biochar aplicada. Em geral, o aumento no nível de salinidade da água aplicada causou aumento na CE do extrato de saturação dos solos e diminuiu seu pH. A aplicação de biochar causou redução na CEes para as duas águas mais salinas apenas no Cambissolo. Em geral, o aumento da dose de biochar causa aumento no pH do solo.

Palavras-chave: *Zea mays L.*; salinidade; manejo do solo; carvão vegetal.

ABSTRACT

Due to the low yield of maize in the state of Rio Grande do Norte, attributed to factors like climate and degradation of water and soil, including salinization, the present work aimed to evaluate the effect of biochar application in mitigating effects of water salinity in different soils of the western region of this estate cultivated with maize. With this aim, four doses of biochar (0, 0.5, 1.0, and 1.5%) and waters of three salinity levels (0.57, 2.65, and 4.50 dS m⁻¹) were applied in three types of soils (Ultisol, Inceptisol, and Fluvent). Three trials were carried out, one for each soil type contained in columns, in an entirely randomized design with four replications in the western campus of the Federal Rural University of the Semi-Arid, UFERSA, located in the municipality of Mossoró, RN, Brazil. The following determinations were performed after 40 days of maize emergence: shoot dry matter of maize and its contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium, plus pH and electrical conductivity of the soil saturation extract (ECse). Data were submitted to variance analysis and regression analysis. The benefit of biochar in mitigating the effect of water salinity on shoot dry mass of maize was observed in the Ultisol and Fluvent soils, in the last when water of medium salinity was applied. Application of biochar along with saline waters improved nutrient absorption by maize plants, but this benefit was dependent on soil type and dose of biochar. In general, the increase in water salinity level was followed by an increase in ECse and a decrease in pH. Application of biochar caused decrease on CEEs when the two saline waters were applied, only in the Inceptisol. Overall, increase in the dose of biochar caused increase in soil pH.

Key words: *Zea mays* L; soil salinity; soil management; charcoal.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização física e química dos solos Argissolo (AS), Cambissolo (CS) e Neossolo Flúvico (NF) antes da aplicação de biochar e águas salinas27
- Tabela 2.** Características químicas das águas utilizadas na irrigação do milho recebendo doses de biochar em três tipos de solos.....28
- Tabela 3.** Equações de transformação de dados de condutividade elétrica na solução solo/água na proporção 1;2,5 para condutividade elétrica no extrato de saturação.....29
- Tabela 4.** Resumo da análise de variância da Massa Seca da Parte Aérea e seus teores de nutrientes em milho recebendo águas salinas e doses de biochar em três tipos de solos da região Oeste do Rio Grande do Norte. UFERSA. Mossoró, RN.....30
- Tabela 5.** Resumo da análise da variância de pH e condutividade elétrica no extrato de saturação de três solos recebendo doses de biochar e água salina.....40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) recebendo diferentes doses de biochar e níveis de salinidade da água.....	31
Figura 2. Teor de nitrogênio na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.....	33
Figura 3. Teores de fósforo na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.....	35
Figura 4. Teores de potássio na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.....	36
Figura 5. Teores de cálcio na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.....	38
Figura 6. Teores de magnésio na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.....	39
Figura 7. Condutividade elétrica do extrato de saturação de Argissolo em função da dose de biochar (A) e do nível de salinidade da água (B).....	41
Figura 8. Desdobramento da interação de dose de biochar dentro do nível de salinidade da água para condutividade elétrica do extrato de saturação em Cambissolo (A) e Neossolo Flúvico (B).....	42
Figura 9. Desdobramento das interações de pH do Argissolo em função de dose de biochar dentro de do níveis de salinidade da água.....	43
Figura 10. pH do Cambissolo em função da dose de biochar (A) e do nível de salinidade da água (B).....	44
Figura 11. pH do Neossolo Flúvico em função da dose de biochar (A) e do nível de salinidade da água (B).....	44

Imagem 1. Casa de vegetação do setor de Ciências Ambientais do campus oeste da Universidade Federal Rural do Semiárido UFRSA/Mossoró – RN.....	27
Imagem 2. Carvão vegetal, obtido da carbonização de madeira de Algaroba (<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.).....	28
Imagem 3. Disposição dos vasos na casa de vegetação e o desenvolvimento do milho.....	29

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	14
2 - OBJETIVOS	18
2.1 Geral	18
2.2 Específicos	18
3. REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 Produção de Milho no Brasil.....	19
3.2 Causas da baixa produtividade do milho na região Nordeste.....	19
3.3 Salinização.....	20
3.4 Prejuízos da salinidade para as plantas.....	21
3.5 Prejuízos da salinidade para os solos.....	22
3.6 O uso de condicionadores de solo para mitigar a salinidade.....	22
3.7 O biochar.....	24
3.8 Efeitos do biochar sobre a salinidade.....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Massa seca da parte aérea do milho.....	30
5.2 Teor de nitrogênio na massa seca da parte aérea do milho.....	32
5.3 Teor de fosforo na massa seca da parte aérea do milho.....	34
5.4 Teor de potássio na massa seca da parte aérea do milho.....	36
5.5 Teor de cálcio na massa seca da parte aérea do milho.....	37
5.6 Teor de magnésio na massa seca da parte aérea do milho.....	39
5.7 Condutividade elétrica do extrato de saturação dos solos (CEes).....	40
5.8 pH do solo.....	43
CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é cultivado em todo o Brasil e sua importância econômica se deve a ser utilizado na alimentação humana e animal e como matéria prima na produção de biocombustíveis e em indústrias de alta tecnologia (Fornasieri Filho, 2007). No ano de 2016 foram colhidas no Brasil 63.643.423 t de milho, em duas safras, com produtividade média de 4.868 kg ha⁻¹ na primeira safra e 3908 kg ha⁻¹ na segunda (IBGE, 2017). O estado do Paraná obteve as maiores produtividades médias (8025 kg ha⁻¹ e 4897 kg ha⁻¹) em cada safra. A região Nordeste produziu 3.702.112 t, com média ao redor de 1500 kg ha⁻¹, sendo que o Rio Grande do Norte produziu 2.943 t em 80.659 ha, com produtividade de 382 kg ha⁻¹.

Entre as causas de baixas produtividades agrícolas, está a degradação dos recursos solo e água, sob a pressão da agricultura (FAO, 2011). A agricultura intensiva está associada à diminuição do carbono no solo e emissões de gases causadores do efeito estufa e a práticas agrícolas inadequadas que causam erosão, depleção de nutrientes, compactação e salinização.

A salinidade, que é um dos estresses abióticos que mais limitam o crescimento e a produtividade agrícola (Feijão et al., 2013), tem-se agravado nas regiões semiáridas e se torna problema de difícil solução devido ao clima, geologia, qualidade da água e manejo da irrigação (Araújo et al., 2011; Souza et al., 2016). Apesar da importância da irrigação para o desenvolvimento da agricultura em regiões semiáridas, seu manejo inadequado pode causar salinização do solo, prejudicando suas propriedades químicas e físicas (Lacerda et al., 2011).

O clima semiárido do Nordeste do Brasil favorece a salinização do solo, mesmo se aplicada água de boa qualidade (Barbosa et al., 2012), devido às temperaturas e evaporação serem altas e a precipitação baixa. Porém, as fontes de água são escassas, algumas com altos teores de sais, devido ao clima e ao material de origem dos solos (Barbosa et al., 2012; Furtado et al., 2014; Silva et al., 2016).

No nordeste do Brasil grande parte das fontes disponíveis de água subterrâneas é de baixa qualidade porque a maioria dos poços se situa no cristalino, cujas águas contêm maior teor de sais do que as de aquíferos sedimentares. Em muitas áreas da região, onde são escassas água de boa qualidade, é comum o uso para irrigação de fontes de água com condutividades elétricas acima de 2,0 dS m⁻¹ (Lacerda et al., 2011).

A irrigação das culturas é necessária porque a região enfrenta déficit hídrico na maior parte do ano. Para atender à demanda hídrica em contexto de escassez de água de boa qualidade e fácil captação é preciso usar águas de qualidade inferior, muitas provenientes de poços situados no cristalino, que contêm maior teor de sais do que as de aquíferos sedimentares, ou reutilizar águas de drenagem com alto teor de sais solúveis, que prejudicam

algumas culturas e degradam o solo, ou misturar águas com diferentes teores de sais (Barbosa et al., 2012; Furtado et al., 2014; Souza et al., 2016).

Os prejuízos da salinidade ao desenvolvimento das plantas se devem a efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais. O efeito osmótico provocado causa redução na absorção de água pelas plantas; o efeito de íons específicos ou excesso de íons tóxicos faz com que entrem no fluxo de transpiração, podendo causar danos às folhas, alteração da integridade estrutural e funcional da membrana plasmática e inibir a atividade de enzimas vitais ao metabolismo, causando redução no crescimento ou prejudicando a absorção de elementos essenciais (Feijão et al., 2013; Silva et al., 2016; Sousa et al., 2012).

O milho é considerado moderadamente sensível ao excesso de sais no solo, havendo perda de produtividade de 12,0% a cada unidade de salinidade acima de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$, ou sofrer declínio na produção de matéria seca a partir da CE $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ (Ayers & Westcot, 1999).

O excesso de sais solúveis e/ou sódio trocável, que caracterizam os solos afetados por sais como salino, salino sódico ou sódico, prejudica a estrutura do solo e, por isto, o desenvolvimento das raízes das plantas, pois limita a infiltração de água no solo e dificulta a absorção de água do solo pelas plantas (Holanda et al., 2010).

Além do cultivo de espécies tolerantes à salinidade e adoção de sistemas de irrigação mais eficientes e bem manejados, para usar águas de qualidade inferior (Lacerda et al., 2011), solos já salinizados podem ser corrigidos, em geral aplicando-se gesso e lâmina de irrigação capaz de lixiviar o excesso de sais, e também materiais orgânicos (Miranda et al., 2011), que liberam CO_2 e ácidos orgânicos na decomposição da matéria orgânica e fornecem cálcio e magnésio, que substituem o sódio.

Além da aplicação de gesso mais uma lâmina de irrigação que cause a lixiviação do excesso de sais, o uso de adubos orgânicos ameniza a salinidade por melhorar propriedades físicas do solo, como a retenção de água, fazendo com que as células vegetais fiquem túrgidas por mais tempo. O biofertilizante, ou esterco líquido bovino, o esterco de curral, a casca de arroz e a vinhaça também ajudam a reduzir a PST, devido à liberação de CO_2 e ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica, além de atuarem como fontes de cálcio e magnésio, em detrimento do sódio (Miranda et al., 2011; Sousa et al., 2012). Em solos salinos e sódicos a matéria orgânica favorece atributos físicos por melhoria na agregação, diminuindo a dispersão promovida pelo sódio. Ela melhora a condutividade hidráulica, infiltração e retenção de água no solo, além de reter nutrientes e fixar carbono atmosférico (Benites et al., 2009; Miranda et al., 2011).

Tendo em vista a importância da matéria orgânica para a qualidade do solo e os seus baixos teores nos solos tropicais e a possibilidade de sintetizar substâncias húmicas de alta

estabilidade e reatividade a partir de carvão vegetal e seus subprodutos, surgiram estudos para reproduzir os efeitos da matéria orgânica por meio da aplicação de biomassa carbonizada, denominados biochar (Benites et al., 2009).

Um modelo utilizado em manejo de solos são as Terras Pretas de Índio (TPI) da Amazônia, as quais em contraste com solos próximos possuem boa fertilidade, estrutura e condição físico-hídrica, que são atribuídas à matéria orgânica de origem pirogênica na fração humificada, da qual grande parte é originada de resíduos de carvão. Uma maneira de reproduzir seus efeitos é a aplicação como condicionador de solo do biochar produzido por meio da pirólise (carbonização) de biomassa vegetal e, ou animal, sob suprimento muito baixo de oxigênio. Para isso pode-se aproveitar subprodutos da carbonização vegetal e o próprio carvão, abundantes no Brasil (Benites et al., 2009).

O biochar é produzido por meio da pirólise térmica de biomassa vegetal e, ou animal, sob um suprimento muito baixo de oxigênio. Este material é muito poroso, rico em carbono e contém grande quantidade de estruturas orgânicas e elementos inorgânicos. A composição química da fração cinzas é constituída de macro e micronutrientes para as plantas. Além da melhoria nas condições de fertilidade do solo, a aplicação de biochar pode aumentar a retenção de nutrientes e de água, se ligar com poluentes e reduzir emissões de gases causadores do efeito estufa (Novak et al., 2016).

As propriedades de sorção do biochar são responsáveis em grande parte pela ação em mitigar os impactos do estresse para as plantas, seja pela redução na exposição das plantas aos agentes de estresse, ou pela melhoria da resposta das plantas ao estresse. A alta capacidade do carvão ativado em absorver vários sais já é bem conhecida, inclusive com sua utilização em processos industriais de dessalinização. Além da sorção dos sais, o aumento da disponibilidade de água no solo e a melhoria nas condições hídricas das plantas, proporcionadas pelo biochar proporcionam a mitigação dos efeitos osmóticos e de toxicidade iônica dos sais (Ekebafé et al., 2013; Thomas et al., 2013).

A aplicação do biochar como condicionador do solo tem causado aumento na produtividade das culturas em solos degradados, nos quais elas enfrentam vários tipos de estresse (Ekebafé et al., 2013; Thomas et al., 2013). A estrutura porosa do biochar lhe confere grande superfície específica e abundância de microporos que absorvem e imobilizam poluentes orgânicos e inorgânicos em solos e águas contaminadas. Por ser muito absorvente ele se liga a poluentes como metais pesados e diminui seus efeitos sobre as plantas, bem como alivia os efeitos da salinidade e reduz a lixiviação de nitrato e de agroquímicos para recursos hídricos (Ekebafé et al., 2013; Novak et al., 2016).

Akhtar et al. (2015) observaram que, devido a sua alta capacidade de adsorção, a

aplicação de biochar reduziu a absorção de sódio pelas plantas por meio de ligação transitória com Na^+ , causando diminuição no estresse osmótico pelo aumento no teor de água do solo, e pela liberação de nutrientes minerais como K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} para a solução do solo.

Nesse contexto o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de doses de biochar e uso de águas salinas na irrigação sobre o crescimento e nutrição do milho e nas características físico-químicas dos solos.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito da aplicação de biochar em mitigar os efeitos da salinidade da água de irrigação no milho cultivado em diferentes solos da região oeste do estado do Rio Grande do Norte.

2.2 Específicos

- a. Avaliar o efeito de diferentes doses de biochar sobre a massa seca e seus teores de nutrientes no milho cultivado em três tipos de solos utilizando-se e de três níveis de salinidade da água.

- b. Avaliar o efeito de diferentes doses de biochar sobre o pH e a condutividade elétrica do extrato de saturação em três tipos de solos cultivados com milho irrigado com águas de três níveis de salinidade.

3 . REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Produção de Milho no Brasil

O milho (*Zea mays* L.) tem origem na América Central e é cultivado em todo o Brasil, tendo grande importância econômica porque tem diversas formas de utilização, incluindo a alimentação humana e animal e como matéria prima na produção de biocombustíveis e também em indústrias de alta tecnologia (Fornasier Filho, 2007).

No ano de 2016 foram colhidas no Brasil 63.643.423 toneladas de milho, em duas safras, em área de 15.054.509 ha e produtividade média de 4.868 kg ha⁻¹ na primeira safra e 3908 kg ha⁻¹ na segunda (IBGE, 2017). O estado do Paraná apresentou as maiores produtividades médias (8025 kg ha⁻¹ e 4897 kg ha⁻¹) em cada safra e o Mato Grosso lidera a produção (15.339.785 toneladas) e a área colhida (3.736.321 ha). A região Nordeste produziu 3.702.112 toneladas em 2.015.916 ha, com média ao redor de 1500 kg ha⁻¹, sendo que o estado da Bahia produziu 1.545.690 toneladas em 545.655 ha, com produtividades médias de 3391 kg ha⁻¹ e 1600 kg ha⁻¹ em cada safra, enquanto que o Rio Grande do Norte produziu 2.943 toneladas em 80.659 ha, com produtividade muito baixa (382 kg ha⁻¹).

3.2 Causas da baixa produtividade do milho na região Nordeste

Entre as causas de baixas produtividades agrícolas, está a degradação dos recursos solo e água, sob a pressão da agricultura (FAO, 2011). A agricultura intensiva está associada à diminuição do carbono no solo e emissões de gases causadores do efeito estufa e a práticas agrícolas inadequadas que causam erosão, depleção de nutrientes, compactação, salinização e poluição do solo. A queda de produtividade dos solos inicia com perdas de matéria orgânica e degradação física do solo, seguida pela depleção de nutrientes e degradação química.

A salinidade, um dos estresses abióticos que mais limitam o crescimento e a produtividade agrícola (Feijão et al., 2013), vem crescendo em todo o mundo, de maneira que bilhões de hectares de solos estão alterados por sais, cujo excesso causa redução da produção em grande parte das áreas irrigadas do mundo (Souza et al., 2016). A salinização é resultado da intensificação da agricultura irrigada, fundamental para aumentar a produção de alimentos, mas cujo manejo inadequado tem levado ao abandono de áreas anteriormente produtivas em virtude da degradação dos solos (Miranda et al., 2011).

3.3 Salinização

A salinização surge quando a irrigação mobiliza sais existentes no solo, ou quando a água de irrigação e, ou fertilizantes minerais adicionam sais ao solo. A FAO (2011) estima que 34 Mha, ou 11 % de toda a área irrigada no mundo, eram afetadas pela salinidade. Feijão et al. (2013) comentam que aproximadamente 20% das terras cultivadas no mundo enfrentam problemas de salinização, os quais são mais severos nas regiões áridas e semiáridas.

Os climas áridos e semiáridos são propícios à salinização dos solos, como na região semiárida do Nordeste do Brasil, onde solos salinos e sódicos são mais encontrados. O fato de que ao redor de 25% das áreas irrigadas já estarem salinizadas, causa redução importante da produção e produtividade do milho na região. A salinidade nas regiões semiáridas tem-se agravado e tende a se tornar um problema de difícil solução devido ao clima, geologia, qualidade da água e manejo da irrigação (Araújo et al., 2011; Souza et al., 2016).

A crescente necessidade de se aumentar a produção de alimentos tem causado expansão significativamente das áreas agrícolas e da irrigação, a qual depende da quantidade e da qualidade da água disponível para atender às necessidades hídricas das culturas e lixiviar o excesso de sais, evitando sua acumulação no solo (Miranda et al., 2011). Apesar da importância da irrigação para o desenvolvimento da agricultura em regiões semiáridas, se ela não for manejada adequadamente, pode causar salinização do solo, alterando negativamente suas propriedades químicas e físicas (Lacerda et al., 2011).

No semiárido brasileiro, períodos de secas intercalados com chuvas de alta intensidade e de distribuição irregular proporcionam déficit de umidade no solo durante a maior parte do ano, sendo necessário irrigar para repor a umidade do solo e aumentar a produção de alimentos. Porém, os recursos hídricos são escassos e muitos deles possuem altos teores de sais, devido às características climáticas, altas temperaturas, alta evaporação e baixa precipitação, associada às propriedades do material de origem dos solos (Barbosa et al., 2012; Furtado et al., 2014; Silva, 2016). Nestas regiões, a salinização não é causada somente pela irrigação com águas de baixa qualidade, mas também pelo manejo inadequado da irrigação, mesmo quando se aplica águas de qualidade adequada (Barbosa et al., 2012).

O sucesso da agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água, aspecto negligenciado quando existiam fontes de água em quantidade, de boa qualidade e de fácil utilização. Entretanto, o uso intensivo levou a grande diminuição destas fontes de água e à necessidade de recorrer a águas de qualidade inferior para atender à demanda (Barbosa et al., 2012; Souza et al., 2016), bem como reutilizar água de drenagem com elevados teores de sais e utilizar culturas que apresentem rentabilidade quando irrigadas com

esses tipos de água (Furtado et al., 2014).

No nordeste do Brasil grande parte das fontes disponíveis de água subterrâneas é de baixa qualidade porque a maioria dos poços se situa no cristalino, cujas águas contêm maior teor de sais do que as de aquíferos sedimentares. Em muitas áreas da região, onde são escassas água de boa qualidade, é comum o uso para irrigação de fontes de água com condutividades elétricas acima de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Lacerda et al., 2011). Para isso, é necessário que se cultivem espécies tolerantes a salinidade e que se adotem sistemas de irrigação mais eficientes e bem manejados, ou que se misturem águas com diferentes concentrações de sais. Na região de Mossoró, a principal fonte de água é a subterrânea, retirada do aquífero do Calcário Jandaíra, a qual, segundo Alencar (2007) apresenta salinidade alta ($\text{CE} > 1,5 \text{ dS m}^{-1}$).

Entre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis pode limitar o desenvolvimento de algumas culturas e promover alterações em atributos físico-químicos do solo. Em caso de manejo inadequado da irrigação, ocorre degradação de áreas extensas, que se tornam salinas e sódicas, devendo ser recuperadas para restabelecer a capacidade produtiva (Miranda et al., 2011; Silva et al., 2016).

3.4 Prejuízos da salinidade para as plantas

Os prejuízos da salinidade ao desenvolvimento das plantas se devem a efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais. O efeito osmótico provocado causa redução na absorção de água pelas plantas; o efeito de íons específicos ou excesso de íons tóxicos faz com que entrem no fluxo de transpiração, podendo causar danos às folhas, alteração da integridade estrutural e funcional da membrana plasmática e inibir a atividade de enzimas vitais do metabolismo, causando redução no crescimento ou prejudicando a absorção de elementos essenciais. A deficiência de água, nutrientes e o desequilíbrio nutricional afetam a produtividade e a qualidade de produtos agrícolas (Feijão et al., 2013; Silva et al., 2016; Sousa et al., 2012).

Neste aspecto, o milho é considerado moderadamente sensível ao excesso de sais no solo, de forma a sofrer perda de produtividade de 12,0% por aumento unitário da salinidade acima de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$, ou sofrer declínio na produção de matéria seca a partir da CE de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$. Foi verificado que o aumento da salinidade do solo decorrente ao uso de água com a qualidade inferior na irrigação reduziu significativamente a produção de matéria seca, as taxas de assimilação líquida, crescimento absoluto e relativo, área foliar total e útil, fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso de água e produtividade (Feijão et al., 2013; Oliveira et al., 2016; Silva et al., 2016; Sousa et al., 2012).

3.5 Prejuízos da salinidade para os solos

O grave problema ambiental devido à elevada concentração de sais no solo causa perdas consideráveis para agricultura desde o nível local, regional e mundial, pois causam perdas em cultivos, abandono de áreas cultivadas e por inviabilizar a exploração de novas áreas (Araújo et al., 2011; Souza et al., 2016). O excesso de sais solúveis e/ou sódio trocável, que caracterizam os solos afetados por sais como salino, salino sódico ou sódico, prejudica a estrutura do solo e, por isto, o desenvolvimento das raízes das plantas, pois limita a infiltração de água no solo e dificulta a absorção de água do solo pelas plantas (Holanda et al., 2010).

A concentração de sais solúveis na solução do solo leva à formação de solos salinos, nos quais ocorre acumulação de sais de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Os cloretos e sulfatos são os mais encontrados, com quantidades reduzidas de carbonatos e nitratos. Apesar do excesso de sais, os solos salinos não apresentam limitação quanto à permeabilidade devido ao baixo teor de Na^+ . Um solo é salino-sódico quando a percentagem de sódio trocável (PST) é \geq a 15% e a alta salinidade é indicada por condutividade elétrica (CE) \geq 4 dS m^{-1} . A solonização, que forma solos sódicos, é constituída pela sodificação, na qual o Na^+ passa da solução do solo para o complexo de troca, formando os solos salinosódicos, enquanto que na dessalinização ocorre lavagem de sais solúveis, resultando em solos apenas sódicos (Ribeiro et al., 2003; Ribeiro, 2010). A classificação da água de irrigação (Almeida, 2010) considera a sodicidade, devido ao efeito na permeabilidade do solo, nutrição e toxicidade às plantas, o pH, que indica as condições químicas do solo por influenciar a disponibilidade de elementos químicos essenciais às plantas e a CE, por indicar a salinidade no solo (Barreto et al., 2012).

3.6 O uso de condicionadores de solo para mitigar a salinidade

A recuperação de solos com problemas de salinidade e/ou sodicidade é fundamental para que eles retornem ao sistema produtivo e pode ser realizada através de técnicas melânicas, químicas e biológicas (Araújo et al., 2011). As técnicas mecânicas incluem operações de subsolagem, aração e gradagem; as químicas usam corretivos como o gesso, o cloreto de cálcio, o enxofre e o ácido sulfúrico, e as biológicas utilizam plantas e/ou resíduos orgânicos que melhoram as propriedades físicas do solo (Batista et al., 2002),

O uso de biofertilizante ou esterco líquido bovino pode atenuar os efeitos prejudiciais da salinidade da água de irrigação ao crescimento inicial de culturas (Sousa et al., 2012). Estes autores citam trabalhos com culturas como mamoneira, maracujazeiro, feijão-de-corda e goiabeira, nas quais a utilização de esterco bovino sob diferentes formas mitigou os efeitos da

utilização de águas salinas. Os adubos orgânicos amenizam a salinidade pela melhoria em propriedades físicas do solo, como a retenção de água, fazendo com que as células vegetais fiquem túrgidas por mais tempo. Além disso, eles proporcionam benefícios relacionados às trocas gasosas como fotossíntese, transpiração e condutância estomática em relação a plantas que não receberam aplicação do insumo orgânico. Na cultura do milho, quanto maior a concentração do biofertilizante bovino, menor foi o efeito prejudicial da água salina.

A forma de correção mais usada é a aplicação de gesso com uma lâmina de irrigação suficiente para causar a lixiviação do excesso de sais. Outros produtos usados com sucesso são os adubos orgânicos, de fácil acesso aos pequenos produtores (Miranda et al., 2011). O esterco de curral, a casca de arroz e a vinhaça também ajudam a reduzir a PST, devido, provavelmente à liberação de CO₂ e ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica, além de atuarem como fontes de cálcio e magnésio, em detrimento do sódio. Avaliando a possibilidade de uso desses produtos na recuperação de solos salino-sódicos, Gomes et al. (2000), relatam redução na PST, principalmente na camada de 0-20 cm de profundidade, de 48,5 para 14% quando usaram esterco de curral, de 46 para 29% usando casca de arroz e de 25 para 17,7%, no tratamento com o uso de gesso.

Em solos salinos e sódicos, a matéria orgânica pode ser muito benéfica por promover maior agregação do solo, diminuindo a dispersão promovida pelo sódio. Isto porque em solos tropicais a matéria orgânica atua na estruturação do solo como agente ligante entre as partículas e entre agregados, favorecendo seus atributos físicos, como a condutividade hidráulica e a infiltração e retenção de água. Além disso, é importante para o incremento da capacidade de retenção de nutrientes e representa compartimento importante para a fixação do carbono atmosférico (Benites et al., 2009; Miranda et al., 2011).

A estabilidade e a reatividade da matéria orgânica são fundamentais para a escolha de um adubo orgânico. Neste aspecto, as Terras Pretas de Índio (TPI) apresentam compostos orgânicos pirogênicos na fração humificada, sendo esta matéria orgânica de origem pirogênica um fator chave para a alta fertilidade, boa estruturação e condição físico-hídrica destes solos. A caracterização desta matéria orgânica demonstra que grande parte da porção humificada é originada de resíduos de carvão. Como é possível sintetizar substâncias húmicas de alta estabilidade e reatividade a partir de carvão vegetal e seus subprodutos, surgiu a ideia de aproveitar subprodutos da carbonização vegetal e o próprio carvão, que são abundantes no Brasil, como condicionadores de solo (Benites et al., 2009).

Os compostos orgânicos encontrados nas TPI possuem características como alta resistência à termodegradação, além de apresentarem cargas eletroquímicas, devido à presença de grupos funcionais, as quais contribuem para o aumento da capacidade de troca de

cátions (CTC) e para a estruturação do solo. Suas substâncias húmicas apresentam alta estabilidade no solo, devido à elevada aromaticidade, e alta reatividade, devido a grupos carboxílicos presentes nestas moléculas. Essas características são importantes para um condicionador orgânico com boa persistência e alta capacidade de troca catiônica para aplicado em solos tropicais, geralmente muito intemperizados, onde a fração argila apresenta baixa CTC e estão submetidos a condições climáticas que favorecem a mineralização da matéria orgânica (Benites et al., 2009).

3.7 O Biochar

Tendo em vista a importância da matéria orgânica para a qualidade do solo e os seus baixos teores nos solos tropicais, existem estudos para reproduzir seus efeitos por meio da aplicação de resíduos agrícolas carbonizados, denominados biochar, os quais também contêm matéria orgânica, cujo teor e composição dependem da matéria prima do biochar e das condições de carbonização. Essas aplicações têm promovido melhorias na qualidade dos solos, embora efeitos negativos também tenham sido relatados. Os maiores aumentos em produtividade atribuídos ao biochar têm sido observados em solos ácidos e neutros com texturas de média a arenosa. A aplicação de biochar também aumenta o sequestro de carbono, contribuindo para a mitigação da mudança climática. A estrutura porosa do biochar resulta em grande superfície específica e predominância de microporos que absorvem e imobilizam poluentes orgânicos e inorgânicos em solos e águas contaminadas (Smebye et al., 2016).

O biochar é produzido por meio da pirólise térmica (carbonização) de biomassa vegetal e, ou animal, sob um suprimento muito baixo de oxigênio. Este material é muito poroso, rico em carbono e contém grande quantidade de estruturas orgânicas e elementos inorgânicos. A grande proporção de estruturas aromáticas altamente condensadas causa aumento do sequestro de carbono no solo por resistirem à oxidação microbiana. A composição química da fração cinzas é constituída de macro e micronutrientes para as plantas. Além da melhoria nas condições de fertilidade do solo, a aplicação de biochar pode aumentar a retenção de nutrientes e de água, se ligar com poluentes e reduzir emissões de gases causadores do efeito estufa (Novak et al., 2016).

Em trabalho de Lima et al. (2013) foi verificado que o biochar apresenta interações eletrofisiológicas no complexo solo-planta, além de estabilidade e durabilidade, que permitem que ele substitua fertilizantes orgânicos como o esterco bovino fresco em usos agrícolas e levar à diminuição no uso de fertilizantes químicos. Como alternativa à matéria orgânica, a capacidade de troca de cátions do biochar causaria aumento da CTC do solo, melhoria no

equilíbrio nutricional e na fertilidade do solo, diminuindo a necessidade de fertilizante químico. A estrutura porosa do biochar aumenta a retenção de água e nutrientes no solo, diminuindo perdas por lixiviação e aumentando a eficiência dos fertilizantes.

Segundo Ekebafé et al. (2013), estas substâncias se assemelham a húmus artificial, pois são hidrofílicas e contêm grupos carboxílicos que os tornam capazes de se ligar a cátions e água, e sequestrar carbono da atmosfera. O biochar proporciona aumento no crescimento e produtividade das culturas agrícolas porque melhora a estrutura do solo, com aumento da sua aeração, infiltração e disponibilidade de água para as plantas; reduz sua taxa evapotranspiratória; aumenta a fertilidade do solo, mesmo reduzindo o uso de fertilizantes sintéticos; reduz emissões de óxido nítrico e metano pelo solo; reduz a lixiviação de nitrato e de agroquímicos para os recursos hídricos; se liga a metais pesados e diminui seus efeitos sobre as plantas bem como alivia os efeitos da salinidade.

3.8 Efeitos do biochar sobre a salinidade

A aplicação do biochar como condicionador dos solos, o qual possui alta capacidade de absorção, tem causado aumentos na produtividade das culturas em solos degradados pela atividade humana, nos quais elas enfrentam estresse por diversos fatores, entre os quais a seca e exposição a substâncias tóxicas (Ekebafé et al., 2013; Thomas et al., 2013). As propriedades de sorção do biochar são, provavelmente, responsáveis em grande parte pela ação do biochar em mitigar os impactos do estresse para as plantas, seja pela redução na exposição das plantas aos agentes de estresse, ou pela melhoria da resposta das plantas ao estresse. A alta capacidade do carvão ativado em absorver vários sais já é bem conhecida, inclusive com sua utilização em processos industriais de dessalinização. Além da sorção dos sais, o aumento da disponibilidade de água no solo e a melhoria nas condições hídricas das plantas, proporcionadas pelo biochar, principalmente durante períodos de seca, levariam à mitigação dos efeitos osmóticos e de toxicidade iônica dos sais (Thomas et al., 2013).

Em termos de salinidade, a aplicação de biochar pode amenizar em curto prazo os efeitos negativos do estresse salino para as culturas, podendo reduzir a absorção de Na^+ em culturas em sucessão (Akhtar et al., 2015). Os autores observaram que, devido a sua alta capacidade de adsorção, a aplicação de biochar reduziu a absorção de sódio pelas plantas por meio de ligação transitória com Na^+ , causando diminuição no estresse osmótico pelo aumento no teor de água do solo, e pela liberação de nutrientes minerais como K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} para a solução do solo. O crescimento, a fisiologia e a produtividade do trigo submetido a estresse salino foram beneficiadas pela aplicação de biochar, principalmente sob altos níveis de

salinidade, devido a sua ação de reduzir a absorção de Na^+ pela cultura.

Em trabalho semelhante com a batata, Akhtar et al. (2015) observaram que a incorporação de biochar ameniza o estresse salino, pela adsorção de Na^+ , podendo aumentar a produtividade em solos afetados por sais. Para cada nível de salinidade, a incorporação de biochar aumentou a biomassa da parte aérea, tamanho das raízes, produtividade de tubérculos e o potencial de água nas folhas ao meio dia em comparação ao tratamento sem biochar.

Resultados obtidos por Thomas et al. (2013) indicam que a aplicação de biochar derivado de material lignocelulósico pode mitigar, ou eliminar efeitos negativos da salinidade sobre o desempenho de plantas. Entretanto, esse efeito foi obtido com a aplicação de grande quantidade de biochar (50 t ha^{-1}), quando as plantas apresentaram crescimento e desempenho fisiológico semelhante a plantas não expostas aos sais. O aumento na disponibilidade de água pode, em parte, explicar a melhoria nos efeitos dos sais observada neste trabalho.

Os efeitos da aplicação de 45 Mg ha^{-1} de biochar produzido com diferentes resíduos agrícolas disponíveis sobre a qualidade de dois solos agrícolas áridos, um franco arenoso e um franco argiloso, foram testados por Zhang et al. (2016). Apesar dos benefícios sobre a matéria orgânica e nutrientes, a aplicação de biochar de algumas das matérias primas, dependendo do tipo de solo, agravou a salinidade. Por isto, os efeitos do biochar sobre a salinidade do solo, pH e disponibilidade de nutrientes devem ser considerados quando for aplicado em solos áridos. A acumulação de sódio no solo também foi observada por Thomas et al. (2013) quando usou biochar produzido com matéria prima rica em sódio.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido entre janeiro e outubro de 2015, em casa de vegetação do campus oeste da Universidade Federal Rural do Semiárido, UFRSA, localizada em Mossoró-RN (Imagem 1). As coordenadas geográficas são 5° 11' S e 37° 20' O e a altitude de 18 m. O clima local é semiárido e, de acordo com a classificação de Koeppen, é do tipo BSw^h, seco e muito quente, com duas estações climáticas: uma seca, que vai geralmente de junho a janeiro, e uma chuvosa, de fevereiro a maio (Carmo Filho et al., 1991)



Imagem 1. Casa de vegetação do setor de Ciências Ambientais do campus oeste da Universidade Federal Rural do Semiárido, UFRSA/Mossoró-RN

Foram realizados três experimentos, utilizando três solos da região oeste do estado Rio Grande do Norte, coletadas na profundidade de 0-20 cm e classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013), como Argissolo (AS), coletado na fazenda experimental Rafael Fernandes da UFRSA, Cambissolo (CS) coletado no município de Upanema –RN e Neossolo flúvico (NF), coletado às margens do Rio Angicos, no NUTESA da UFRSA. Os solos foram, secos ao ar, destorroados e passados em peneira de 4 mm para a montagem do experimento. Na Tabela 1 apresenta-se a caracterização química e física dos solos utilizados no experimento, conforme metodologias da EMBRAPA (2011).

Tabela 1. Caracterização física e química dos solos Argissolo (AS), Cambissolo (CS) e Neossolo Flúvico (NF) antes da aplicação de biochar e águas salinas

SOLO	pH	MOS g kg ⁻¹	P -----mg dm ⁻³ -----	K	Na	Ca	Mg	Al	(H+Al) ¹ -----cmol _c dm ⁻³ -----	CTC	Areia	Silte	Argila
AS	5,7	20,6	9,0	45	8,6	1,36	0,84	1,2	2,0	4,35	0,91	0,03	0,06
CS	6,7	16,7	0,3	299	39,0	7,46	1,84	0,0	1,3	11,53	0,56	0,08	0,36
NF	8,2	21,7	47,1	139	23,6	12,6	1,12	0,0	0,0	14,18	0,60	0,26	0,14

MOS é Matéria Orgânica do solo; (H+Al) é Acidez potencial; CTC é capacidade de troca de cátions.

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições em esquema fatorial, que constou de três níveis de salinidade da água (0,57;

2,65 e 4,5 dS m⁻¹) e quatro doses de biochar em volume (0; 0,5 - 19 g por coluna, 1,0 - 38 g por coluna e 1,5% - 57 g por coluna), considerando a densidade do biochar de 0,3 kg cm⁻³.

As águas utilizadas possuíam três níveis de salinidade: A1 - Água potável de abastecimento público (0,57 dS m⁻¹); A2 - água equivalente a de um poço raso localizado na UFERSA (4,5 dS m⁻¹); A3 - água oriunda da mistura das duas anteriores (2,65 dS m⁻¹). A água 2 foi produzida com a mistura dos sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.6H₂O para obter a relação catiônica em mol_c: Na:Ca:Mg de 7:2:1. As características químicas das águas, determinadas conforme metodologia de Richards (1954) estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Características químicas das águas utilizadas na irrigação do milho recebendo doses de biochar em três tipos de solos

Água	PH (agua)	CE dS m ⁻¹	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	Dureza mg L ⁻¹	Cátions mmolc L ⁻¹	Aníons
						Mmolc L ⁻¹						
A1	7,71	0,57	0,33	3,40	0,50	2,60	040	2,40	4,2	65	5,0	5,4
A2	7,00	4,50	0,30	26,56	10,10	40,0	000	1,90	9,9	725	41,4	41,9
A3	7,14	2,65	0,33	15,16	4,70	23,0	0,00	2,10	7,7	390	23,3	25,1

O carvão vegetal, obtido da carbonização de Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) (Imagem 2), foi triturado e passado em peneira de 4 mm, resultando em granulometria predominante entre 1,0 e 2,0 mm. Em sua composição, o carvão vegetal possuía 5,43 % de umidade, 63% de carbono fixo, 16% de cinzas e 21% de materiais voláteis. Os principais macronutrientes possuíam os seguintes teores em g kg⁻¹: N - 7,9; P - 1,4; K - 2,0; Ca - 9,95 e Mg - 0,55. Este carvão, em mistura com os solos, foi usado para preencher colunas de PVC de 200 mm de diâmetro e 400 mm de altura, cujo volume era de 12566,4 cm³ (Imagem 3).



Imagem 2. Carvão vegetal, obtido da carbonização de madeira de Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.)

A cultura avaliada foi Milho (*Zea mays* L.) híbrido AG 1051. A adubação constou de 10 g de MAP por coluna, antes do plantio de cinco sementes por coluna, das quais permaneceram apenas duas plantas até o final do crescimento vegetativo. Ao final do experimento, 40 dias após emergência (DAE), as duas plantas foram cortadas rente ao solo

para determinação da massa fresca; destas, uma foi seca em estufa por três dias a 65°C, para determinar-se o teor de massa seca da parte aérea e, em seguida, foi moída em moinhos tipo Willey para determinação do teor dos nutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), da massa seca da parte aérea. Para isto foi empregada metodologia apresentada em Carmo et al. (2000). A massa seca por planta foi calculada a partir do produto entre o teor de massa seca e a massa fresca média das plantas.



Imagem 3. Disposição dos vasos na casa de vegetação e o desenvolvimento do milho

Após o corte das plantas de milho (40 DAE), os solos foram amostrados na camada de 0-20 cm de profundidade para determinação, segundo EMBRAPA (2011), do potencial hidrogeniônico (pH) e da condutividade elétrica (CE), tanto em solução solo/água na proporção de 1:2,5 como no extrato de saturação, no qual foram usadas amostras compostas das quatro repetições. A seguir, se calculou as relações entre os valores dos dois métodos e transformou-se os dados obtidos no sobrenadante água:solo para valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) (Tabela 3), que foram submetidos à análise estatística.

Tabela 3. Equações de transformação dos dados de condutividade elétrica na solução solo/água na proporção 1;2,5 para dados de condutividade elétrica no extrato de saturação

SOLO	a	B	R ²
AS	3,79	0,44	0,76
CS	4,86	0,21	0,93
NF	3,55	1,75	0,52

Equação no formato: $Y = aX + b$, em que Y é a CEes, X é a CE_{1;2,5} e R² é o coeficiente de determinação

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o Teste F (p<0,05) para verificar a significância do efeito dos fatores e da sua interação. No caso de interação significativa entre os fatores, foi verificado o efeito de doses de biochar em cada nível de salinidade da água. Procedeu-se à análise de regressão dos fatores significativos, escolhendo-se o modelo de melhor ajuste conforme o nível de significância e o coeficiente de determinação. O programa estatístico utilizado foi o SISVAR (Ferreira, 2007).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, as doses de biochar exerceram efeitos significativos sobre todas as variáveis analisadas, com exceção da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) do milho, no Neossolo Flúvico (Tabela 4). O nível de salinidade da água aplicada somente não exerceu efeitos significativos sobre o teor de potássio nas plantas, no Cambissolo, e sobre a MSPA e teores de fósforo e cálcio nas plantas, no Argissolo. Enquanto isso, o efeito da interação entre doses de biochar e níveis de salinidade da água foi significativo para todas as variáveis nos três solos ($p < 0,01$), com exceção da MSPA no Argissolo.

Tabela 4. Resumo da análise de variância da Massa Seca da Parte Aérea e seus teores de nutrientes em milho recebendo águas salinas e doses de biochar em três tipos de solos da região Oeste do Rio Grande do Norte. UFERSA. Mossoró, RN

Fonte de variação	GL*	Argissolo					
		MSPA	N	P	K	Ca	Mg
Quadrados Médios							
Dose	3	448,47**	20,87*	0,57**	88,71**	68,75**	44,26**
Água	2	8,85 ^{ns}	68,54**	0,19 ^{ns}	39,11**	0,03 ^{ns}	14,51**
Dose x água	6	75,53 ^{ns}	29,51**	1,40**	6,62**	1,51**	2,025**
Erro	36	68,87	48,40	0,03	0,24	0,203	0,10
CV (%)		17,13	9,29	23,38	16,26	13,75	23,55
Média Geral		48,44	23,69	0,78	3,02	3,23	1,34
Cambissolo							
Dose	3	2456,15**	89,44**	0,46**	3,60**	12,92**	12,92**
Água	2	22817,07**	64,19**	0,12**	0,20 ^{ns}	4,71**	4,71**
Dose x água	6	3624,74**	238,07**	0,13**	3,90**	2,69**	2,69**
Erro	36	111,85	79,49	0,008	0,64	0,41	0,418
CV (%)		10,31	10,94	17,46	19,66	17,92	17,92
Média Geral		102,55	25,78	0,51	4,08	3,56	1,13
Neossolo flúvico							
Dose	3	29,67 ^{ns}	204,96**	0,35**	7,57**	2,92**	0,50**
Água	2	6865,98**	28,55**	0,04**	2,85**	11,51**	0,52**
Dose x água	6	467,27**	20,66**	0,09**	3,48**	3,17**	0,81**
Erro	36	34,47	35,50	0,001	0,27	0,03	0,001
CV (%)		9,06	13,40	7,08	8,47	6,87	8,25
Média Geral		64,83	14,06	0,45	6,17	2,36	2,40

GL = graus de liberdade; MSPA = massa seca da parte aérea do milho; CV = coeficiente de variação.

5.1 Massa seca da parte aérea do milho

A massa seca da parte aérea (MSPA) do milho, no Argissolo, foi influenciada apenas pela dose de biochar, tendo aumentado de forma quadrática até a dose de 1,2%, sendo 32% maior do que a testemunha sem biochar (Figura 1A). Isto está de acordo com Maia & Sohi (2010), que observaram aumento de 17% na massa seca de milho forrageiro com a adição de 30 t ha⁻¹ de biochar, em relação ao tratamento sem biochar. Observa-se também que os valores de MSPA obtidos no Argissolo, que apresentava menor fertilidade (Tabela 1), foram

inferiores aos obtidos no Cambissolo (Figura 1B), independente da água utilizada, e do que os obtidos nos Neossolo Flúvico (Figura 1C), com exceção da água de maior salinidade.

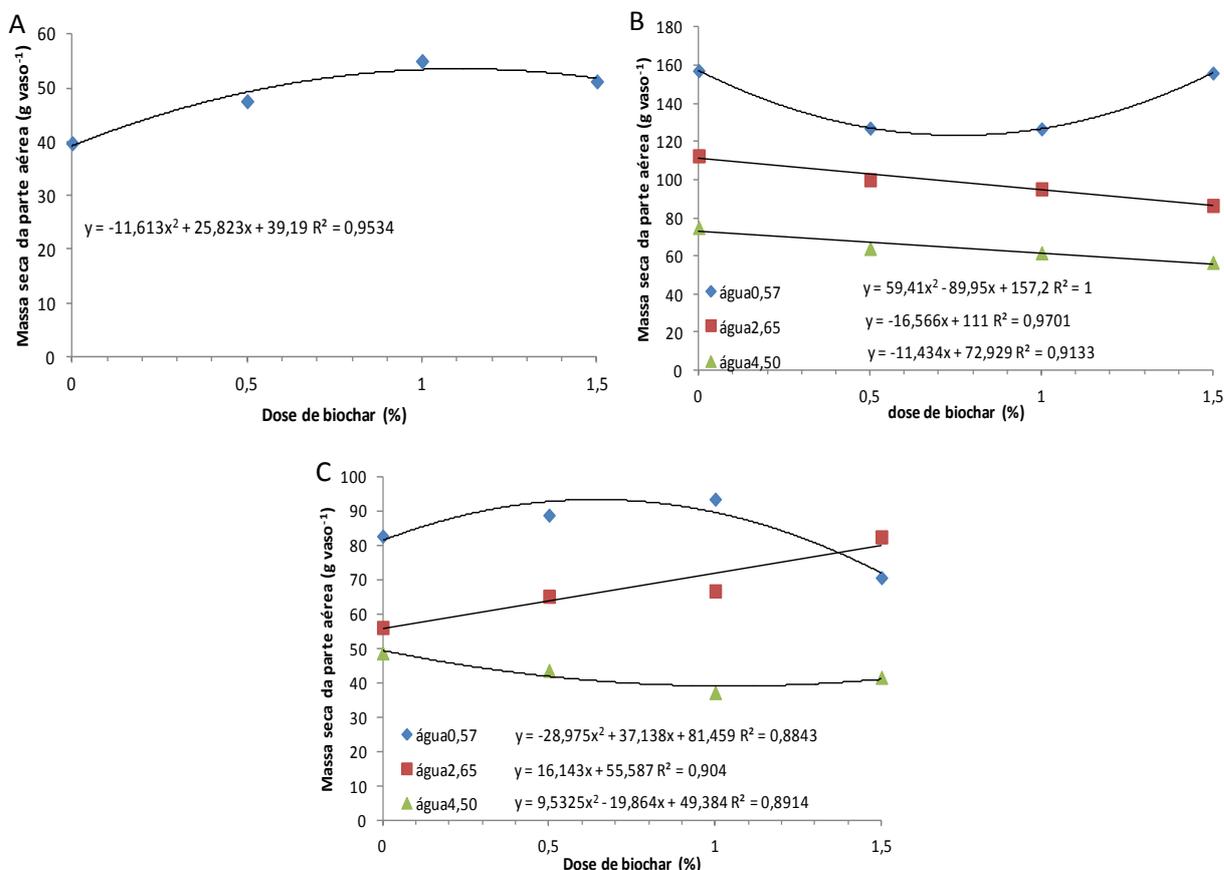


Figura 1. Massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) recebendo diferentes doses de biochar e níveis de salinidade da água

Quando se aplicou a água menos salina (0,57 dS m⁻¹), tanto no Cambissolo (Figura 1 B) como Neossolo Flúvico (Figura 1 C) a tendência foi quadrática para a MSPA. No Cambissolo a mínima MSPA ocorreu na dose de 0,8% de biochar, enquanto que no Neossolo Flúvico obteve-se a máxima MSPA na dose de 0,6% de biochar. As MSPA obtidas com a água menos salina foram maiores do que as obtidas com a água mais salina e, também do que os valores obtidos com a água para a água de salinidade intermediária, com exceção da dose de 1,5%. Neste sentido, Oliveira et al. (2010) e Sousa et al. (2010) observaram redução na biomassa do milho com o aumento da CE da água de irrigação.

A aplicação da água mais salina (4,50 dS m⁻¹), tanto no Cambissolo como no Neossolo Flúvico, causou tendência de diminuição na MSPA com a dose de biochar. Essa diminuição foi linear no Cambissolo, sendo de 15% na MSPA entre a dose zero e a dose de 1,5% de biochar, enquanto que no Neossolo a mínima MSPA foi obtida na dose de 1,0% de biochar. A aplicação da água de salinidade intermediária (2,65 dS m⁻¹) resultou em efeito linear sobre a MSPA, havendo decréscimo de 23% entre as doses zero e 1,5% de biochar no Cambissolo e

aumento de 42% entre as mesmas doses, no Neossolo.

O benefício do biochar em mitigar o efeito da salinidade da água sobre a MSPA foi observado no Argissolo, independente da água utilizada, e no Neossolo Flúvico para a água de salinidade intermediária. Isso se deve à sorção de sais pelo biochar e melhoria na disponibilidade de água no solo e na condição hídrica das plantas, reduzindo efeitos osmóticos e toxicidade iônica dos sais (Thomas et al., 2013).

O melhor efeito do biochar sobre MSPA ocorreu no Argissolo, confirmando Jeffery et al. (2011) que afirma que os melhores efeitos ocorrem em solos mais arenosos e mais ácidos. A tendência de comportamento inverso da MSPA no Cambissolo e no Neossolo Flúvico foi observada para a água de menor salinidade, para a qual a MSPA diminuiu no Cambissolo e aumentou no Neossolo até salinidade semelhante da água, e para a água de salinidade intermediária, para a qual a MSPA diminuiu no Cambissolo e aumentou no Neossolo.

Isso pode ser devido a que, no Cambissolo, que possuía maior teor de potássio e de argila, quando se aplicou a água menos salina, o biochar adicionou nutrientes e melhorou a estrutura do solo e a CTC (Uzoma et al., 2011). Enquanto que no Neossolo, onde se destaca o teor de silte, recebendo água de salinidade intermediária o benefício à MSPA pode se dever à melhoria na condição física do solo proporcionada pelo biochar. Isso é apoiado por Thomas et al. (2013), para quem o biochar diminui os efeitos negativos da salinidade pela melhoria na estrutura do solo, e Akhtar et al. (2015) ao destacar a absorção de íons como o Na pelo biochar. A menor MSPA no Neossolo recebendo a água menos salina e maior dose de biochar pode se dever à diminuição na porosidade do solo por partículas do biochar (Liu et al., 2017).

A influência da dose e da matéria prima do biochar foi citada por Rajkovich et al. (2012), que obtiveram aumento de 30% na biomassa do milho, quando usaram biochar feito de esterco animal e de 43% para biochar de palha de milho, enquanto que ocorreu diminuição de 92% com biochar feito de restos de alimentos. Segundo os autores, o benefício ao crescimento das plantas nas menores doses (0,2 e 0,5%) se deveu a maiores teores de N, P, K e Mg no solo, enquanto o prejuízo nas maiores doses (2,0 e 7,0%) se deveu ao maior teor de Na. Nesse sentido, Araújo et al. (2010) destacam o efeito tóxico de íons como o Na⁺ e Cl⁻ sobre a fixação líquida de carbono e produção de fotoassimilados.

5.2 Teor de nitrogênio na massa seca da parte aérea do milho

A aplicação da água não salina (0,57 dS m⁻¹) indica o efeito individual do biochar, que reduziu linearmente (29%) o teor de nitrogênio entre as doses zero e 1,5% no Argissolo (Figuras 2A), apesar deste teor ser maior que os obtidos com os outros níveis de salinidade,

exceto na maior dose. Isto é devido a retenção pelo biochar do nitrogênio no solo, diminuindo sua disponibilidade (Miranda et al., 2017; Steiner et al., 2010). Isso pode trazer benefício econômico e ambiental, pois reduz emissões de N₂O e perdas de N por lixiviação (Nóbrega, 2011) e se aumentar a eficiência de uso do N pelas culturas (Chan et al., 2007). No Cambissolo (Figura 2B), observou-se aumento quadrático do teor de nitrogênio na MSPA até a dose de 1 % de biochar, enquanto que no Neossolo Flúvico (Figura 2C) ocorreu redução quadrática do teor de nitrogênio na MSPA até a dose de 0,8% de biochar, apesar de que na maior dose de biochar o teor de nitrogênio ainda foi 27% menor do que na dose zero.

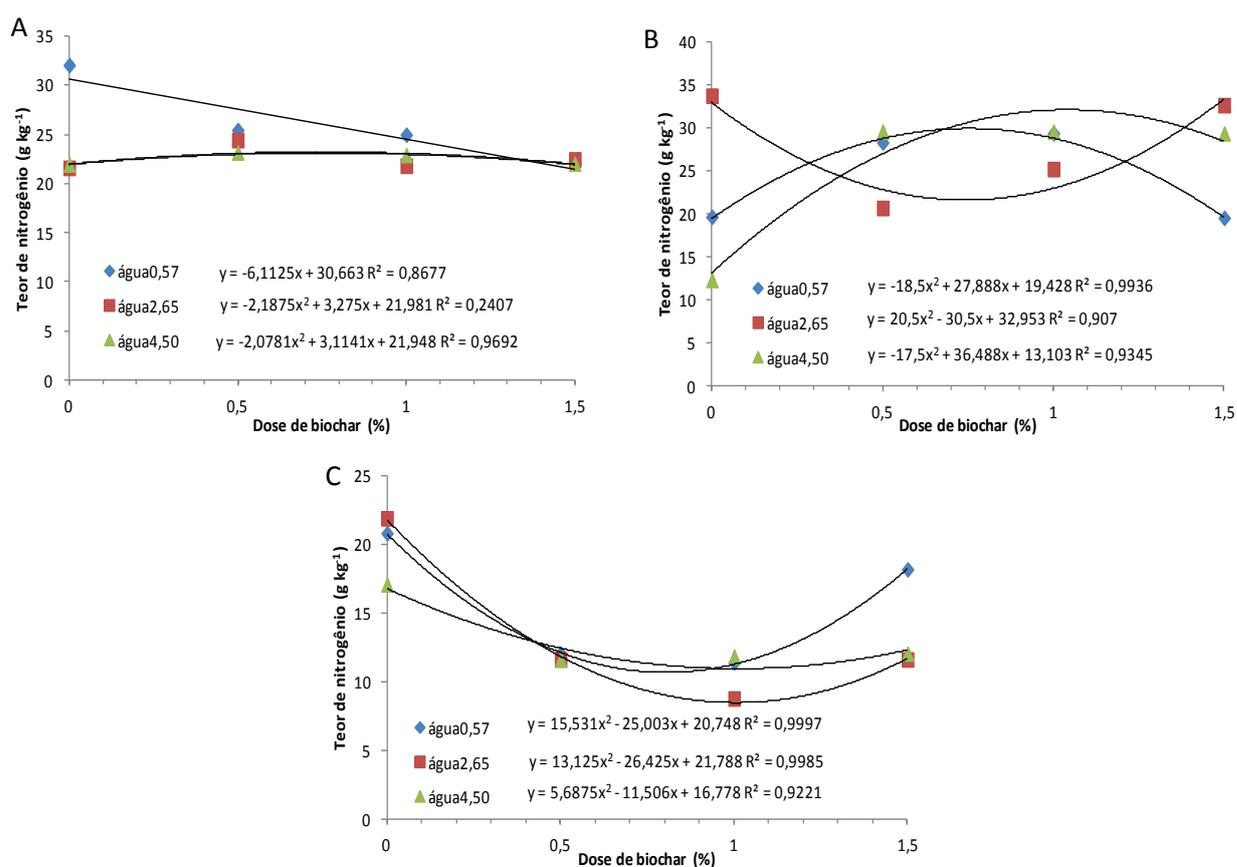


Figura 2. Teor de nitrogênio na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.

Usando-se a água com salinidade de 2,65 dS m⁻¹ no Argissolo, o teor de N aumentou até a dose de 0,7% de biochar, a partir da qual ele diminuiu até a maior dose. No Neossolo Flúvico, o teor de nitrogênio na MSPA do milho diminuiu até a dose de 1,1% de biochar, enquanto que no Cambissolo o teor de nitrogênio diminuiu até a dose de 0,7% de biochar.

Usando-se a água de maior salinidade (4,50 dS m⁻¹) no Argissolo, o teor de N nas plantas aumentou até a dose de 0,7% de biochar, enquanto que, no Cambissolo aumentou até a dose de 0,7% e no Neossolo Flúvico o N diminuiu até a dose de 1,0 de biochar. No Neossolo Flúvico a aplicação de biochar teve pequeno efeito sobre a absorção de nitrogênio

pelas plantas, que é um dos principais efeitos iônicos de toxicidade por sais, segundo Lewis et al. (1989). Segundo Farooq et al. (2015), a absorção e translocação de nitrogênio são muito inibidas pelo estresse salino, com redução no teor de nitrogênio em diferentes partes das plantas de milho. Os autores citam trabalho no qual aumento gradual de sais na água de irrigação causa redução na absorção de nitrogênio até a CE da água de 6 dS m⁻¹.

No argissolo o maior efeito das doses de biochar foi reduzir a absorção de N pelas plantas recebendo a água menos salina, enquanto que para as águas mais salinas o biochar pode ter retido o excesso de sais, como já discutido. No Cambissolo e no Neossolo Flúvico ocorreram efeitos contrários das doses de biochar sobre o teor de N na MSPA, principalmente recebendo as águas de 0,57 e 4,50 ds m⁻¹; o teor de N aumentou no Cambissolo até as doses respectivas de 1% e 1,1%, e diminuiu no Neossolo Flúvico até as doses de 0,8% e 1,0%.

O efeito do biochar no Cambissolo pode ser devido à melhoria na estrutura do solo, possibilitando maior exploração do solo pelas raízes, ou pela adição de Ca e K ao solo, que pode melhorar a eficiência de uso do nitrogênio em plantas sob estresse salino, segundo Lewis et al. (1989). No Neossolo Flúvico o problema seria o preenchimento pelo biochar dos poros do solo, que já possui teores mais altos de silte. A influência do tipo de solo foi discutida por Zhang et al. (2016) que observaram agravamento da salinidade com a aplicação de biochar, dependendo da matéria prima de biochar e do tipo de solo.

Teores adequados de nitrogênio nas plantas, considerando os valores entre 27,5 e 32,5 g kg⁻¹ adotados por Moreira et al. (2014), ocorreram no Argissolo, com a água não salina e doses mais baixas de biochar, no Cambissolo com as maiores doses de biochar para as águas salinas e em doses intermediárias de biochar para a água não salina.

5.3 Teor de fósforo na massa seca da parte aérea do milho

A aplicação no Argissolo da água menos salina (0,57 dS m⁻¹) causou diminuição no teor de P nas plantas até a dose de 0,5% de biochar (Figura 3A). Com esta água, na maior dose de biochar, o teor de P foi maior do que com águas mais salinas e foi 135% maior do que na dose zero. No Cambissolo, o teor de P nas plantas aumentou até a dose de 1,5% (Figura 3B) na qual o teor foi 64% maior do que na dose zero, enquanto que no Neossolo Flúvico ocorreu aumento até a dose de 1% (Figura 3C), diminuindo um pouco até a dose de 1,5%.

Quando se usou água com salinidade de 4,50% no Argissolo, o teor de P aumentou até a dose de 0,7% de biochar, enquanto que no Neossolo Flúvico o aumento foi linear (160%) entre as doses zero e 1,5% de biochar. No cambissolo, o teor de P nas plantas diminuiu até a dose de 0,5% de biochar, porém foi semelhante para as três águas na maior dose de biochar.

O teor de P nas plantas aumentou até a dose de 0,8% de biochar, quando se usou a água com de 2,65% no Argissolo; no Cambissolo o aumento foi linear de 64% entre as doses zero e 1,5% e, no Neossolo Flúvico, ocorreu aumento até a dose de 1%.

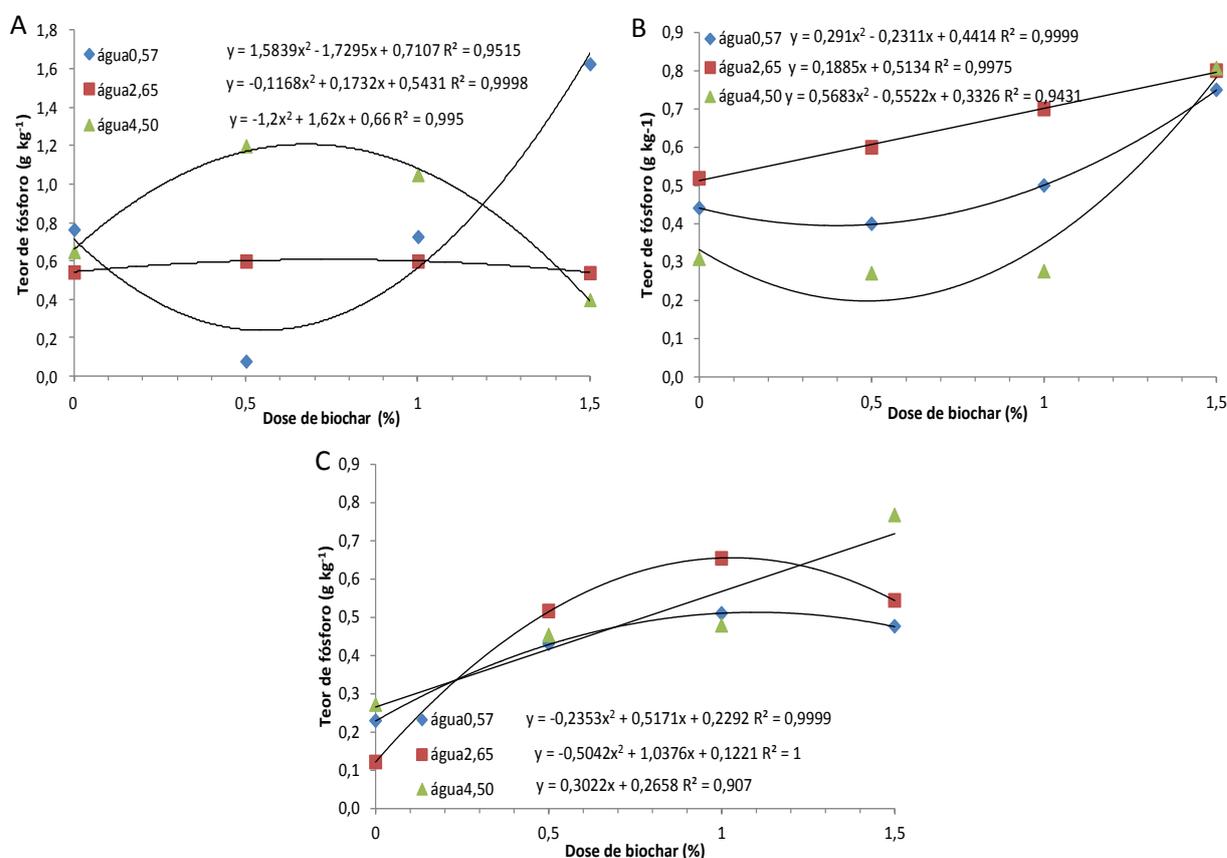


Figura 3. Teores de fósforo na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.

Observou-se tendência de aumento no teor de P nas plantas com a dose de biochar em todos os solos e níveis de salinidade da água. Apesar disso, não se observou teores adequados de fósforo nas plantas, considerando os valores entre 1,9 e 3,5 g kg^{-1} adotados por Moreira et al. (2014). O aumento foi mais acentuado com a água menos salina no Argissolo, com todas as águas no Cambissolo e com a água de 4,50 dS m^{-1} no Neossolo Flúvico. Segundo Sharpley et al. (1992), a concentração de P nos tecidos das plantas pode ser reduzida de 20% a 50%, em ambiente salino, sem sintomas de deficiência de P nas plantas. O fósforo é um dos nutrientes mais importantes para a formação de grãos do milho, mas limita a produtividade em solos tropicais porque sua mobilidade e fixação nos colóides do solo limitam a absorção pelas plantas (Machado & Souza, 2012). Segundo Madari et al. (2006), o biochar disponibiliza no solo o P ligado à matéria orgânica, mas não o P em ligado com argilominerais do solo.

Segundo Asai et al. (2009), a aplicação de biochar melhora a disponibilidade de P para as plantas, sendo que Gundale & De Luca (2007) obtiveram aumento no teor de P com

aplicação de 2% de biochar em solo arenoso e Petter et al. (2012) obtiveram aumento de 17% com a dose 32 t ha⁻¹ em relação à testemunha. O benefício para as culturas se deve tanto ao efeito indireto do biochar sobre a disponibilidade de P no solo como ao P contido na fração cinzas do biochar (Sohi et al., 2010). Entretanto, Lehmann et al. (2003) e Carvalho et al. (2013) não observaram melhoria na disponibilidade de P pela aplicação de biochar.

5.4 Teor de potássio na massa seca da parte aérea do milho

A aplicação da água não salina (0,57 dS m⁻¹) no Argissolo causou diminuição no teor de potássio nas plantas até a dose de 0,5% de biochar (Figura 4A), a partir da qual os teores de K aumentaram até a doses de 1,5% e foram 127% maiores do que na dose zero. O teor de K nas plantas foi maior na maior dose de biochar do que o teor obtido com as águas de maior salinidade. No Cambissolo (Figura 4B) e no Neossolo Flúvico (Figura 4C), o uso desta água fez com que o teor de potássio nas plantas aumentasse até as doses de 0,85% e 1,0% de biochar, respectivamente, nos dois casos o teor de K na maior dose de biochar ainda foi superior ao teor na dose zero.

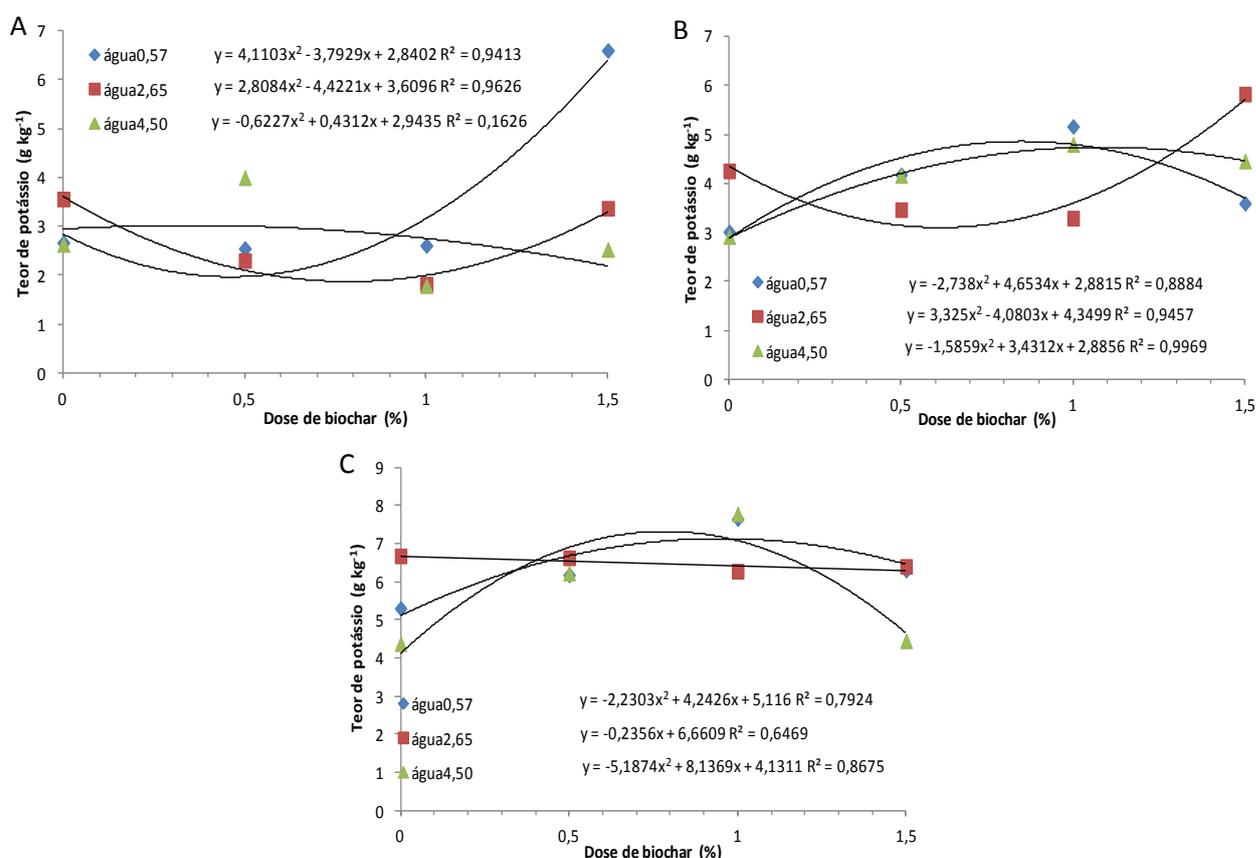


Figura 4. Teores de potássio na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.

Quando se usou a água de $2,65 \text{ dS m}^{-1}$ o teor de K nas plantas diminuiu até a dose de 0,8% de biochar no Argissolo, e até a dose 0,6% no Cambissolo, enquanto que, no Neossolo Flúvico a diminuição foi linear (5%) entre a dose zero e a dose de 1,5%. Usando-se a água de maior salinidade ($4,50 \text{ dS m}^{-1}$) o efeito do biochar foi de aumentar o teor de potássio nas plantas até a dose de 0,5% de biochar no Argissolo, 1,1% no Cambissolo e 0,8% no Neossolo Flúvico. A partir destas doses, o teor de K nas plantas diminuiu até a dose de 1,5% de biochar, com maior decréscimo no Neossolo Flúvico, porém mesmo assim o teor de K foi um pouco superior ao teor na dose zero. Ocorre redução no teor de potássio nas folhas do milho sob estresse salino devido à interferência do sódio na absorção do potássio; tal redução depende do genótipo de milho (Farooq et al., 2015). Os maiores efeitos do biochar ocorreram no Argissolo, recebendo a água menos salina, e no Cambissolo com a água com salinidade de $2,65 \text{ dS m}^{-1}$, cujo teor de potássio aumentou 24% entre as doses zero e 1,5% de biochar.

Os teores de potássio nas plantas, em todas as situações, ficaram bem abaixo dos valores considerados adequados para o milho adotados por Moreira et al. (2014), que variam entre 17,5 e $29,7 \text{ g kg}^{-1}$. O potássio é nutriente limitante para as culturas e seu baixo teor em relação a outros cátions trocáveis provoca desequilíbrio nutricional, afetando sua absorção (Malavolta, 2006). Neste sentido, Jeffery et al. (2011) destacam que a maior disponibilidade de K no solo é um efeito importante da aplicação do biochar sobre a produtividade das culturas. O aumento no teor de potássio disponível para as plantas devido ao biochar foi observado por Madari et al. (2006), Chan et al. (2007) e Liang et al. (2014).

5.5 Teor de cálcio na massa seca da parte aérea do milho

No Argissolo (Figura 5A) e no Cambissolo (Figura 5B), quando se aplicou a água menos salina ($0,57 \text{ dS m}^{-1}$), os teores de cálcio nas plantas diminuíram até as doses de 0,5% e 0,2% de biochar, respectivamente, e os melhores resultados ocorreram na maior dose aplicada, com aumentos em relação à dose zero de 75% no Argissolo e de 73% no Cambissolo. Enquanto isso, no Neossolo Flúvico (Figura 5C) o teor de cálcio nas plantas cresceu até a dose de 0,7% de biochar.

Quando se usou a água com salinidade de $2,65 \text{ dS m}^{-1}$, o teor de cálcio nas plantas apresentou aumento linear entre a dose zero e de 1,5% de biochar de 81% Argissolo e de 115% no Neossolo flúvico. Enquanto isso, no Cambissolo apesar do efeito ser quadrático o aumento no teor de cálcio nas plantas foi de 74% entre a menor e a maior dose. Quando se usou água com salinidade de $4,50 \text{ dS m}^{-1}$, no Argissolo e no Neossolo Flúvico, o teor de cálcio nas plantas diminuiu até a dose de 0,4% de biochar, enquanto que no Cambissolo o teor

de cálcio nas plantas aumentou até a dose 1,1% de biochar.

No Argissolo os teores de cálcio nas plantas foram semelhantes na maior dose de biochar para as três níveis de salinidade da água. Os melhores efeitos das doses de biochar sobre o teor de cálcio nas plantas ocorreram quando se usou a água com salinidade de 2,65 dS m⁻¹, principalmente no Neossolo Flúvico. Esse efeito é importante, porque segundo Farooq et al. (2015), a acumulação do sódio presente na água prejudica a nutrição por cálcio, principalmente em folhas jovens de milho. Um dos principais problemas é a menor expansão das folhas do milho, pois o cálcio é necessário para a integridade das membranas celulares.

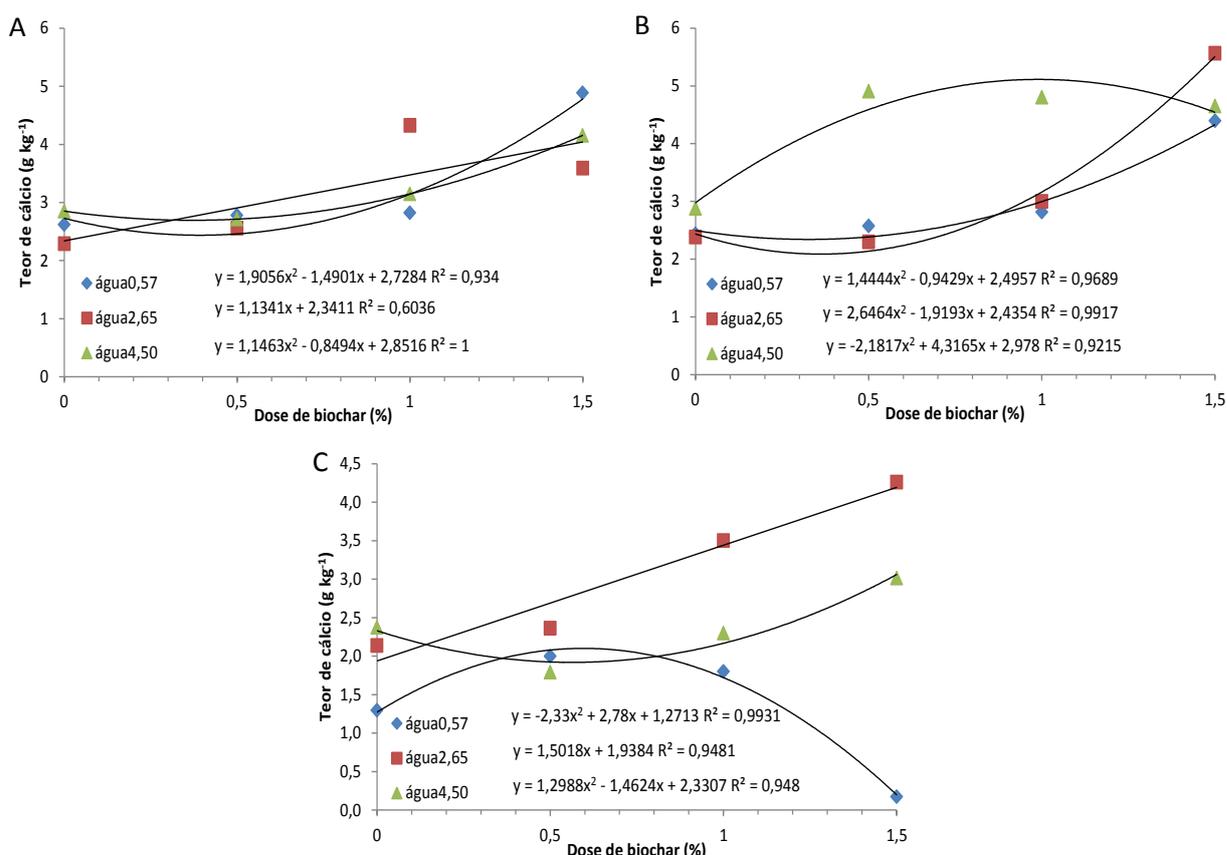


Figura 5. Teores de cálcio na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.

Em geral, os teores de cálcio nas plantas ficaram entre os valores considerados adequados para o milho adotados por Moreira et al. (2014), que variam entre 2,3 e 4,0 g kg⁻¹. A exceção foi quando se usou água não salina no Neossolo Flúvico, destacando a contribuição tanto das águas salinas quanto do biochar em fornecer cálcio. Aumentos no teor de cátions trocáveis com aplicação de biochar também foram obtidos por Chan et al. (2007), usando doses altas, por Carvalho et al. (2013), que observaram aumento linear dos teores de Ca e Mg no solo com o aumento da dose de biochar e por Petter et al. (2012) que obtiveram aumento no teor de cálcio no solo com dose de 32 t ha⁻¹ de biochar em relação à testemunha. Enquanto

que Petter (2010), quando aplicou biochar em soja e arroz no cerrado obtiveram aumento no teor de Ca e na eficiência de uso dos nutrientes.

5.6 Teor de magnésio na massa seca da parte aérea do milho

Quando se aplicou a água de menor salinidade ($0,57 \text{ dS m}^{-1}$) no Argissolo (Figura 6A) o teor de magnésio nas plantas aumentou de forma quadrática (212%) entre a dose zero e a dose de 1,5% de biochar. Enquanto isso, no Cambissolo (Figura 6B) e no Neossolo Flúvico (Figura 6C) os teores de magnésio nas plantas aumentaram até as doses de biochar de 1,0% e 0,8 %, respectivamente.

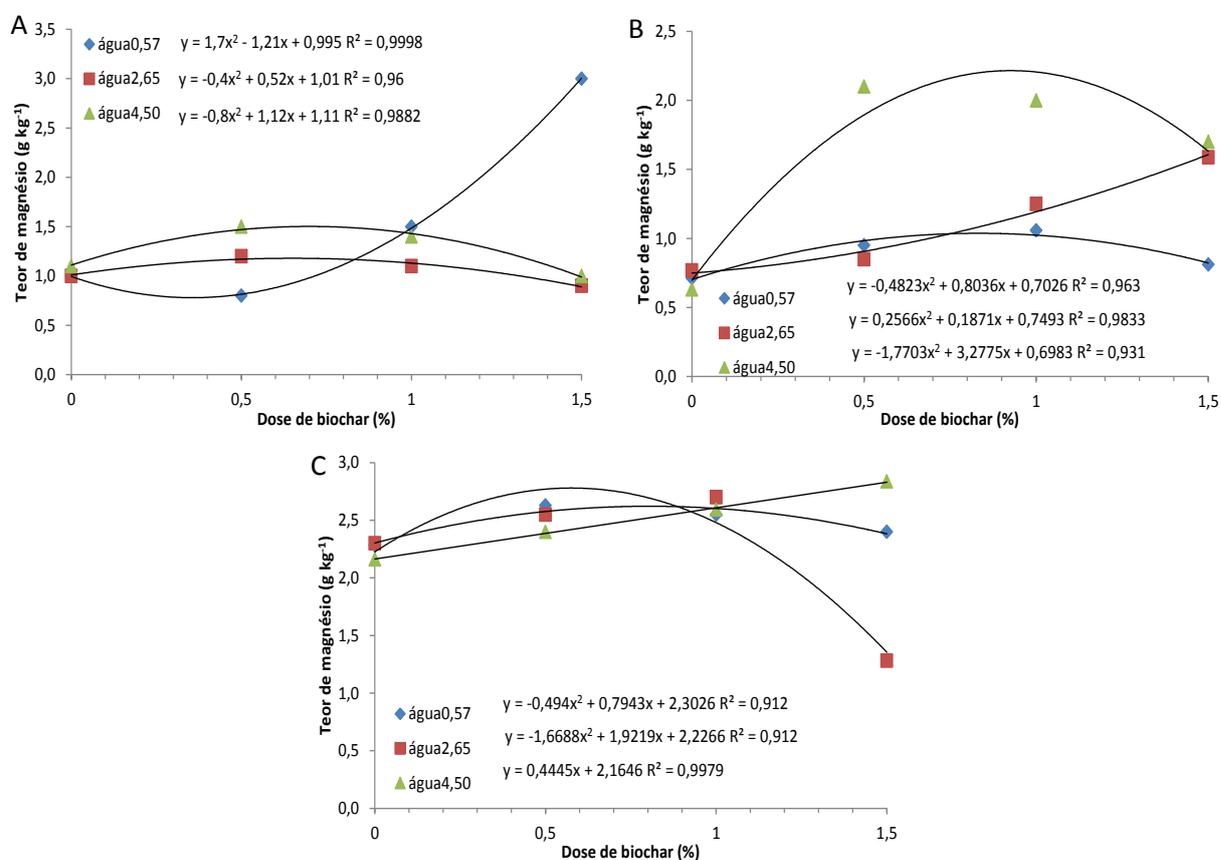


Figura 6. Teores de magnésio na massa seca da parte aérea do milho em Argissolo (A), Cambissolo (B) e Neossolo Flúvico (C) sob doses de biochar e níveis de salinidade da água.

No caso da aplicação da água mais salina ($2,65 \text{ dS m}^{-1}$) o teor de magnésio nas plantas aumentou até a dose de 0,8% de biochar no Argissolo e até 0,5% no Neossolo Flúvico. Enquanto que no Cambissolo o teor o teor de magnésio aumentou de forma quadrática (181%) entre a dose zero e a dose de 1,5% de biochar.

Quando se usou água com salinidade de $4,50 \text{ dS m}^{-1}$ no Argissolo e no Cambissolo os teores de magnésio nas plantas aumentaram até as doses de biochar de 0,3 e 1,0%

respectivamente, enquanto que no Neossolo Flúvico o teor de magnésio nas plantas aumentou 28% entre as dose zero e 1,5% de biochar.

Os melhores efeitos do biochar sobre os teores de magnésio nas plantas ocorreram com o uso da água menos salina no Argissolo e com a água com salinidade de 4,50 dS m⁻¹ no Cambissolo e no Neossolo Flúvico. No Neossolo Flúvico e no Cambissolo, mesmo com a aplicação de águas salinas, foram observados aumentos dos teores de Mg das plantas de milho devidos à aplicação de biochar. Isso é importante, porque segundo Farooq et al. (2015), o teor de magnésio em folhas e raízes do milho diminuem muito em condições de salinidade e de deficiência de potássio, com redução muito maior se estes estresses ocorrem em conjunto.

Os teores de magnésio nas plantas cultivadas no Neossolo Flúvico ficaram entre os valores considerados adequados para o milho adotados por Moreira et al. (2014), que variam entre 1,5 e 4,0 g kg⁻¹. No Cambissolo, os teores adequados somente foram obtidos com a adição de biochar quando se usou as águas mais salinas, enquanto que no Argissolo eles somente foram alcançados com a maior dose de biochar quando se usou a água não salina. Aumento linear dos teores Mg no solo com o aumento da dose de biochar foi observado por Carvalho et al. (2013), enquanto Melo (2016) atribui à aplicação de biochar a manutenção dos teores de Mg no solo após dois cultivos de feijão-caupi. Segundo Akhtar et al. (2015), devido a alta capacidade de adsorção, o biochar se liga transitoriamente com Na⁺, reduzindo sua absorção pelas plantas, amenizando o estresse osmótico pelo aumento no teor de água do solo e liberação de nutrientes como K⁺, Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ para a solução do solo.

5.7 - Condutividade elétrica do extrato de saturação dos solos (CEes)

A dose de biochar exerceu efeito significativo sobre as variáveis de pH e CEes nos três solos (Tabela 5). O mesmo ocorreu com o nível de salinidade da água no Cambissolo e Neossolo Flúvico. A interação significativa entre doses de biochar e salinidade da água foi observado para a CEes no Cambissolo e Neossolo Flúvico e sobre o pH do Argissolo.

Tabela 5. Resumo da análise da variância de pH e condutividade elétrica no extrato de saturação de três solos recebendo doses de biochar e água salina.

Fonte de variação	GL	Argissolo		Cambissolo		Neossolo Flúvico	
		CEes	pH	CEes	pH	CEes	pH
Dose	3	5,43*	0,29*	8,08*	0,07*	25,26**	0,07*
Água	2	99,30**	0,03 ^{ns}	252,75**	0,81**	183,22**	0,07*
Dose x água	6	1,50 ^{ns}	0,29**	6,27*	0,02 ^{ns}	20,48**	0,01 ^{ns}
Resíduo	36 ¹	1,33	0,08	2,07	0,03	5,40	0,02
Média	-	3,81	5,55	5,87	7,47	5,05	7,65
CV (%)	-	30,3	5,2	24,53	2,15	46,03	1,96

GL é grau de liberdade; CEes é condutividade elétrica do extrato de saturação; CV é coeficiente de variação. ¹No Neossolo Flúvico uma parcela foi considerada perdida.

A CEes do Argissolo apresentou aumento linear de 45 % entre a dose zero e de 1,5% de biochar, independente da salinidade da água (Figura 7A). Neste sentido, Verheijen et al. (2010) afirmam que os sais contidos no biochar podem causar salinização secundária do solo e que o teor de sais como o sódio no biochar depende da composição de sua matéria prima. Isto concorda com Thomas et al. (2013) que observaram acúmulo de sódio no solo devido ao teor de sódio da matéria prima do biochar. A influência da matéria prima do biochar e do tipo de solo para o agravamento da salinidade do solo foi observada por Zhang et al. (2016) quando aplicou 45 Mg ha⁻¹ de biochar produzido com diferentes resíduos agrícolas em solos franco arenoso e franco argiloso de região árida. Quando se considerou apenas o nível de salinidade da água aplicada, como era esperado, a CEes do Argissolo apresentou aumento linear de aproximadamente 380% (Figura 10B) entre os níveis mais baixo (0,57 dS m⁻¹) e o nível mais alto de salinidade da água (4,50 dS m⁻¹).

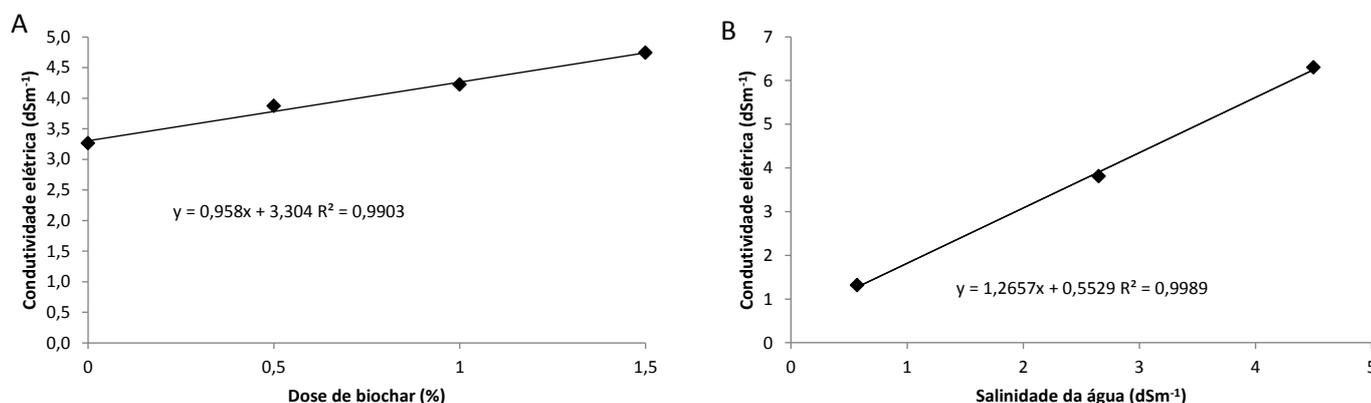


Figura 7. Condutividade elétrica do extrato de saturação de Argissolo em função da dose de biochar (A) e do nível de salinidade da água (B).

A CEes do Cambissolo (Figura 8A) apresentou efeito da interação entre doses de biochar e níveis de salinidade da água aplicada. Como esperado, quando se procedeu ao desdobramento da interação, observou-se que a água de menor salinidade apresentou os menores valores de CEes e os maiores valores foram obtidos com a água mais salina. Dentro de cada nível de salinidade, a ação do biochar foi de diminuir a CEes com o aumento da dose de zero para a maior dose. Estas diminuições, que foram de 19% e de 36%, respectivamente para as águas de 2,65 e de 4,50 dS m⁻¹, são efeito esperado da aplicação de biochar. Isso seria proporcionado pela alta capacidade do carvão em absorver sais, propriedade já aproveitada em processos industriais de dessalinização (Thomas et al., 2013). Segundo Akhtar et al. (2015) este efeito de mitigação ocorre em curto prazo, porque ocorre ligação transitória entre o biochar e o Na⁺ da água e liberação de nutrientes como K⁺, Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ para a solução do solo. Enquanto isso, quando se usou a água de menor salinidade (0,57 dS m⁻¹), foi observado

aumento de apenas 7% na CEes, aumento já discutido.

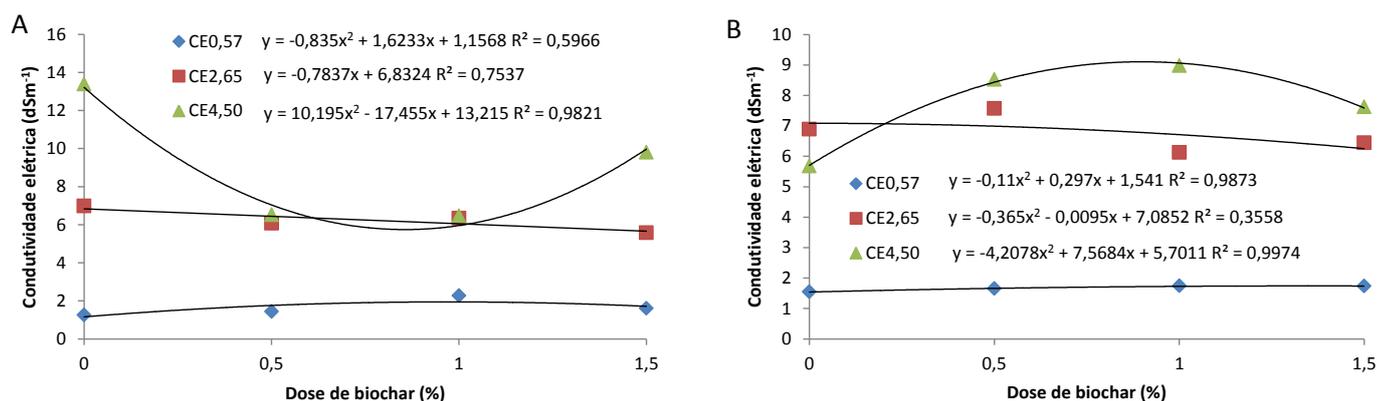


Figura 8. Desdobramento da interação de dose de biochar dentro do nível de salinidade da água para condutividade elétrica do extrato de saturação em Cambissolo (A) e Neossolo Flúvico (B).

A CEes no Neossolo Flúvico (Figura 8B) também apresentou efeito significativo da interação entre doses de biochar e níveis de Salinidade da água aplicada. Também neste solo ficou evidente o aumento da CEes do menor para o maior nível de salinidade da água. No caso da água de menor salinidade, diferentemente do Cambissolo, foi observada diminuição na CEes (30%) entre a dose zero e a maior dose de biochar. Para as duas águas de maior salinidade, ressaltando os valores maiores para a água mais salina, observou-se aumento da CEes até a dose de biochar de 0,7%. Quando se aplicou estas águas, a aplicação da maior dose de biochar resultou em valores de CEes semelhante à dose zero para a água de 4,50 dS m⁻¹ e, para a água de 2,65 dS m⁻¹ a CEes ainda foi 35% maior do que na dose zero de biochar.

Nos três solos foi confirmado o aumento da CEes com o aumento da salinidade da água. Este comportamento é bem conhecido e é decorrente do conteúdo de sais na água, cuja quantidade é indicada pela condutividade elétrica da água, e que acumulam de forma crescente no solo com o aumento da salinidade da água (Holanda Filho et al., 2011; Porto Filho et al., 2011; Travassos et al., 2011). Segundo Aquino et al. (2017) o aumento da salinidade da água causa acumulação de sais no solo em caso de baixa taxa de lixiviação.

O efeito de interação entre doses de biochar e níveis de salinidade da água sobre a CEes foi observado no Cambissolo e no Neossolo Flúvico. No Argissolo que é arenoso e com menor pH, menor CTC e maior acidez potencial, foram observados apenas efeitos individuais lineares positivos dos fatores dose de biochar e nível de salinidade da água sobre a CEes. Neste sentido, diversos trabalhos verificaram o aumento da salinidade do solo com o aumento da salinidade da água de irrigação, independentemente da aplicação de condicionadores, orgânicos ou não (Cavalcante et al., 2010; Medeiros et al., 2011; Mesquita et al., 2012).

No Cambissolo, o solo com maior teor de argila, quando se usou a água de menor salinidade ($0,57 \text{ dS m}^{-1}$), foi observado ligeiro aumento na CEEs entre a dose zero e a maior dose de biochar, enquanto que foi observada diminuição de 30% no Neossolo Flúvico, solo com os maiores pH, CTC e teor de silte. Quando se usou as águas de $2,65$ e de $4,50 \text{ dS m}^{-1}$ no Cambissolo, a ação do biochar dentro de cada nível de salinidade foi de diminuir a CEEs com o aumento da dose de zero para 1,5% de biochar, enquanto que no Neossolo flúvico, com as mesmas águas, observou-se aumento da CEEs até a dose de biochar de 0,7% e maior diminuição da CEEs sob efeito da maior dose de biochar para a água de $4,50 \text{ dS m}^{-1}$.

5.8 pH do solo

O desdobramento da interação entre doses de biochar e níveis de salinidade da água sobre o pH do Argissolo demonstrou que quando se aumentou a dose de biochar de zero para 1,5% (Figura 9), ocorreu aumento linear de 8% para a água mais salina ($4,50 \text{ dS m}^{-1}$), e aumento para a água de $0,57 \text{ dS m}^{-1}$, que chegou a 15% com a dose de 1,5% e, para a água de $2,65 \text{ dS m}^{-1}$ o comportamento também foi quadrático, com diminuição no pH até a dose de 0,8% e diminuição muito pequena (2%) com a dose de 1,5% em relação à dose zero.

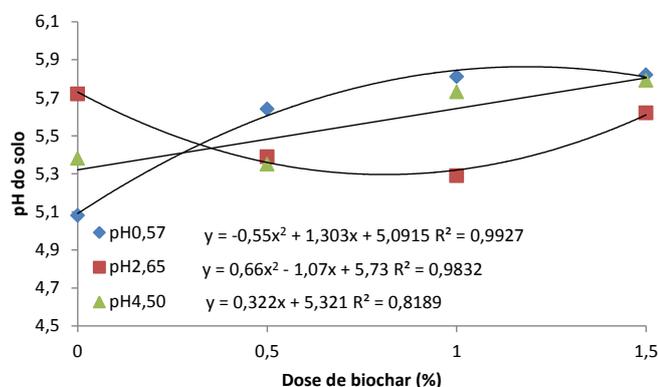


Figura 9. Desdobramento das interações de pH em Argissolo em função de dose de biochar dentro de do níveis de salinidade da água.

O pH do Cambissolo apresentou apenas efeitos individuais dos dois fatores estudados, sendo que as doses de biochar exerceram efeito quadrático crescente no qual o pH aumentou 2% entre as doses zero e 1,5% (Figura 10A). Enquanto que os níveis de salinidade da água aplicada exerceram efeito linear negativo sobre o pH do solo, o qual diminuiu 6% da água de $0,57 \text{ dS m}^{-1}$ para a água de $4,50 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 13B).

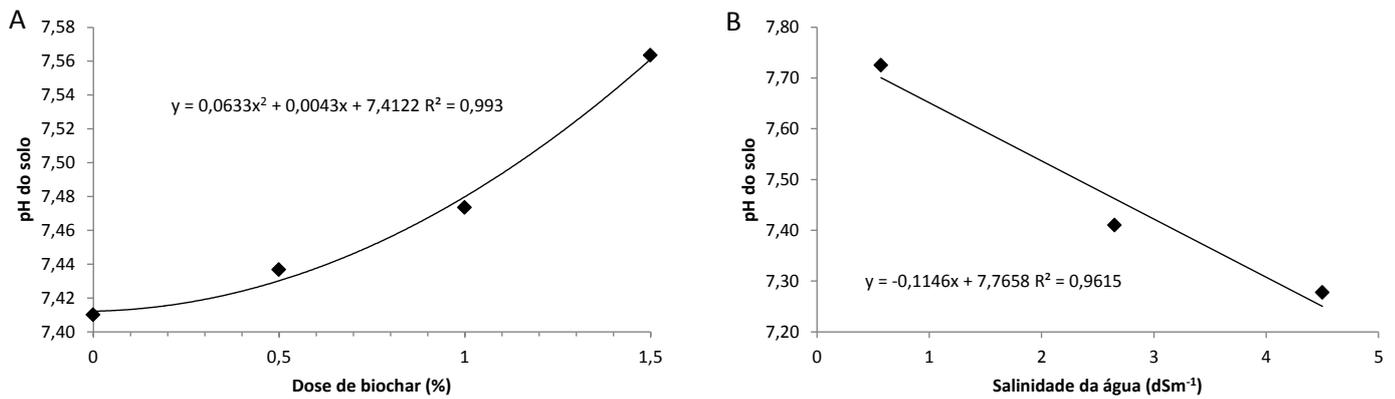


Figura 10. pH do Cambissolo em função da dose de biochar (A) e do nível de salinidade da água (B).

O pH do Neossolo Flúvico também foi influenciado individualmente pelos fatores estudados, tendo o efeito das doses de biochar sido quadráticos com máximo pH na dose de 0,6% e diminuição muito pequena no pH entre a dose zero e a dose de 1,5% de biochar (Figura 11A). O efeito da salinidade da água mostrou diminuição quadrática do pH do solo, com ponto de mínimo pH em nível de salinidade equivalente a 3,2 dS m⁻¹ (Figura 11B).

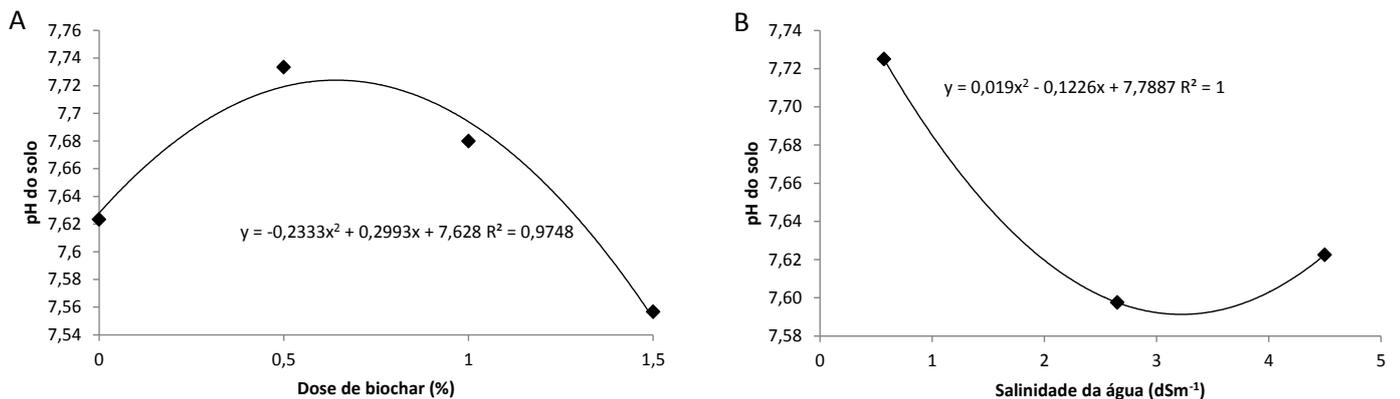


Figura 11. pH do Neossolo Flúvico em função da dose de biochar (A) e do nível de salinidade da água (B).

O pH demonstrou efeito da interação entre os fatores dose de biochar e nível de salinidade da água apenas no Argissolo, no qual o desdobramento mostra aumento linear de 8% do pH com a dose de biochar para a água mais salina (4,50 dS m⁻¹) e aumento quadrático para a água de 0,57 dS m⁻¹ de até 15% com a dose de 1,5% de biochar, enquanto que para a água de 2,65 dS m⁻¹ o pH diminuiu até a dose de 0,8%. Nos outros solos verificou-se efeito individual dos fatores, tendo o efeito das doses de biochar sido quadrático crescente no Cambissolo e com ponto de máximo pH na dose de 0,6% no Neossolo Flúvico. O aumento do pH do solo é o efeito mais estudado da aplicação de biochar e um de seus principais efeitos positivos, que promove aumento em produtividade das culturas (Sohi et al., 2010; Verheijen

et al., 2010; Jeffery et al., 2011). De acordo com Streubel et al. (2011), o aumento no pH se deve à natureza alcalina do biochar, havendo troca de íons H^+ com o solo.

Entretanto, os níveis de salinidade da água exerceram efeito linear negativo no Cambissolo e quadrático com ponto de mínimo pH no nível de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ no Neossolo Flúvico. Apesar de Holanda Filho et al. (2011) ter obtido aumento do pH do solo com aumento da salinidade da água de irrigação. Travassos et al. (2011), após a irrigação com águas com níveis crescentes de condutividade elétrica, observaram aumento no pH em relação ao pH inicial do solo sem irrigação, sem diferença entre os níveis de CE da água. Neste sentido, Porto Filho et al. (2011) discutem que o motivo para a não elevação do pH do solo quando irrigado com águas salinas é a predominância, nas águas utilizadas, de Na^+ e de Cl^- em relação a HCO_3^- . A explicação seria neutralidade do NaCl inibiria a hidrólise do Na^+ , a qual poderia elevar o pH, e baixas concentrações de $NaCO_3$ que na presença de H_2O possibilitaria reações alcalinas que poderiam resultar em valores muito elevados de pH.

CONCLUSÕES

O Biochar mitigou o efeito da salinidade da água sobre a MSPA no Argissolo e para a água de salinidade intermediária no Neossolo Flúvico.

A aplicação de biochar em conjunto com águas salinas beneficiou a absorção de nutrientes, conforme tipo de solo e dose aplicada;

Em geral, o maior nível de salinidade da água aplicada aumentou a CE do extrato de saturação dos solos e diminuiu seu pH;

A aplicação de biochar causou redução na CEes para as duas águas mais salinas apenas no Cambissolo;

Em geral, a dose de biochar causou aumento no pH do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, n. 1, p. 61-68, 2015.
- Alencar, R. D. Monitoramento da qualidade da água em poços do calcário Jandaíra e restrições na agricultura irrigada. Mossoró, 2007. 71 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.
- Almeida, O. A. de. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227 p.
- Araújo, C.A.S.; Ruiz, H.A.; Cambraia, J. Neves, J.C.L.; Freire, M.B.G.S.; Freire, F.J. Seleção varietal de *Phaseolus vulgaris* quanto à tolerância ao estresse salino com base em variáveis de crescimento. *Revista Ceres*, v. 57, n.1, p. 132-139, 2010.
- Araújo, A. P. B. Análise econômica... 2011
- Aquino, J. P. A.; Bezerra, A. A. C.; Alcântara Neto, F.; Lima, C. J. G. S.; SOUSA, R. R. Morphophysiological responses of cowpea genotypes to irrigation water quality. *Revista Caatinga*, v. 30, n. 4, p. 1001-1008, 2017.
- Asai, H.; Samson, B. K.; Stephan, H. M.; Songyikhansuthor, K.; Homma, K.; Kiyono, Y.; Inoue, Y.; Shiraiwa, T.; Horie, T. Biochar amendment techniques for upland rice production in northern Laos: Soil physical properties, leaf spad and grain yield. *Field Crops Research*, v. 111, p. 81-84, 2009
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande. UFPB. 1991. 218p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29. rev.1
- Barbosa, F. S.; Lacerda, C. F.; Gheyi, H. R.; Farias, G. C.; Silva Júnior, R. J. C.; Lage, Y. A.; Hernandez, F. F. F. Yield and ion content in maize irrigated with saline water in a continuous or alternating system. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.42, n.10, p.1731-1737, 2012.
- Barreto, H. B. F.; Junior, V. P. De A.; Lira, J. F.B.; Maia, F. E. N.; Oliveira, N. Distribuição espacial do pH e da condutividade elétrica em um solo aluvial no Rio Grande do Norte. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 8, n. 1, p. 28-33, 2012.
- Batista, M. J.; Novaes, F.; Santos, D. G.; Suguino, H. H. Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos. 2.ed. Brasília: CODEVASF, 2002. 216p.
- Benites, W. M.; Teixeira, W. G.; Rezende, M. E.; Pimenta, A. S. Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as terras pretas de índio. In: *As Terras Pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Ed.s: Teixeira, W. G.; Kern, D. C.; Madari, B. E.; Lima, H. N.; Woods, W. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, Capítulo de livro. 286- 297, 2009.
- Carmo Filho, F.; Espinola Sobrinho, J.; Maia Neto, J. M. Dados Climatológicos de Mossoró: Um município semi-árido nordestino. Mossoró: ESAM. 1991. 121 p. (Coleção Mossoroense, C 30).
- Carmo, C. A. F. S.; Araújo, W. S.; Bernardi, A. C. C.; Saldanha, M. F. C. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2000. 41 p. – (Embrapa Solos. Circular Técnica; 6).
- Carvalho, M. T. M.; Madari, B. E.; Bastiaans, L.; van Oort. P. A. J.; Heinemann, A. B.; Silva, M. A. S.; Maia, A. H. N.; Meinke, H. Biochar improves soil fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: short term effects and impact on rice yield. *Journal of Agriculture and*

- Rural Development in the Tropics and Subtropics, Witzhausen, v. 114, p. 101-107, 2013.
- Chan, K. Y.; Van Zwieten, L.; Meszaros, I.; Downie, A.; Joseph, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, Canberra, v. 45, p. 629–634, 2007
- Cavalcante, L. F.; Cordeiro, J. C.; Nascimento, J. A. M. do; Cavalcante, I. H. L.; Dias, T. J. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.31, p.1281-1290, 2010.
- Ekebafé, M. O.; Ekebafé, L. O.; Maliki, M. Utilisation of biochar and superabsorbent polymers for soil amendment. *Science Progress*, v. 96, n. 1, p.85-94, 2013.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- Farooq, M.; Hussain, M.; Wakeel, A.; Siddique, K. H. M.. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 35, n. 2, p. 461–481, 2015.
- Feijão, A. R.; Marques, E. C.; Silva, J. C. B.; Lacerda, C. F.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. *Bragantia*, Campinas, v. 72, n. 1, p.10-19, 2013
- Ferreira, D. F. Programa SISVAR: sistema de análise de variância. Versão 5.1 (Build 72). Lavras: DEX/UFLA. 2007.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London. 2011. 285 p.
- Fornasieri Filho, D. Manual da cultura do milho. Jaboticabal: FUNEP, 2007. 576 p.
- Furtado, G. F.; Sousa, J. J. R.; Xavier, D. A.; Andrade, E. M. G.; Sousa, J. R. M. Pigmentos fotossintéticos e produção de feijão *Vigna unguiculata* L. Walp. sob salinidade e adubação nitrogenada. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.2, p.291-299, 2014.
- Gomes, E. M.; Gheyi, H. R.; Silva, E. F. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2000.
- Gundale, M. J.; De Luca, T. H. Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 43, n. 3, p. 303-311. 2007.
- Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 43-61.
- Holanda Filho, R, S, F.; Santos, D. B.; Azevedo, C. A. V.; Coelho, E. F.; Lima, V. L. A. Água salina nos atributos químicos do solo e no estado nutricional da mandiocueira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 1, p. 60-66, 2011.
- IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - junho 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em 17/07/2017.
- Jeffery, S.; Verheijen, F. G. A.; van der Velde, M.; Bastos, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Melbourne, v. 144, p. 175-187, 2011.

- Lacerda, C. F.; Sousa, G. G.; Silva, F. L. B.; Guimarães, F. V. A.; Silva, G. L.; Cavalcante, L. F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.31, n.4, p.663-675, 2011.
- Lehmann, J.; Silva Jr.; J. P., Steiner, C.; Nehls, T.; Zech, W.; Glaser, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 249, p. 343–357. 2003.
- Lewis, O. A. M.; Leidi, E. O; Lips, S. H. Effect of nitrogen source on growth response to salinity stress in maize and wheat. *New Phytologist*, v. 111, n. 2, p. 155-160, 1989.
- Liang, F.; Li, G.; Lin, Q.; Zhao, X. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. *Journal of Integrative Agriculture*, v.13, p. 525-532, 2014.
- Lima, S. L.; Marimon-Junior, B. H.; Petter, F. A.; Tamiozzo, S.; Buck, G. B.; Marimon, B. S. Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 35, n. 3, p. 333-341, 2013.
- Liu Z, Dugan B, Masiello CA, Gonnermann HM. Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties. *PLoS ONE* 12(6): e0179079. 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179079>
- Machado, V. J.; Souza, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, suplemento 1, p. 1-7, 2012.
- Madari, B. E.; Costa, A. R.; Castro, L. M.; Santos, J. L. S.; Benites, V. M.; Rocha, A. O.; Machado, P. L. O. A. Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar primavera): Um estudo prospectivo. *Embrapa Arroz e Feijão*, Santo Antônio de Goiás, n. 125. 2006. 2p. (Comunicado Técnico 125)
- Maia, C. M. B. F.; Sohi, S. P. The effect of biochar on soil-carbon stabilization in a highly SOM depleted soil. 3rd IBI Meeting, Rio de Janeiro, Proceedings, 2010.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- Melo, I. G. C. Efeitos do carvão vegetal no solo e sobre cultivos de feijão-caupi em ambiente protegido. 2016. 97f. Mossoró-RN: UFERSA/PGMSA. Tese de Doutorado
- Medeiros, R. F. Cavalcante, L. F.; Mesquita, F. O.; Rodrigues, R. M.; Sousa, G. G.; Diniz, A. A. Crescimento inicial do tomateiro-cereja sob irrigação com águas salinas em solo com biofertilizantes bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 5, p.505-511, 2011.
- Mesquita, F. O.; Cavalcante, L. F.; Pereira, W. E.; Rebequi, A. H.; Lima Neto, A. J.; Nunes, J. C. N. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo submetidas à salinidade do solo com biofertilizante bovino. *Ciencia del Suelo*, v. 30, n. 1, p. 31-41, 2012.
- Miranda, M. A.; Oliveira, E. E. M.; Santos, K. C. F.; Freire, M. B. G. S.; Almeida, B. G. 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.
- Miranda, N. O.; Pimenta, A. S.; Silva, G. G. C.; Oliveira, E. M. M.; Carvalho, M. A.B. Biochar as soil conditioner in the succession of upland rice and cowpea fertilized with nitrogen. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 313 – 323, 2017.

- Moreira, S. G.; Luppi, R. M.; Lima, C. G.; Marucci, R. C.; Resende, Á. V.; Borges, I. D. Massa seca e macronutrientes acumulados em plantas de milho cultivadas sob diferentes espécies de cobertura. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.13, n.2, p. 218-231, 2014
- Nóbrega, I. P. C. Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo. 2011. 38 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- Novak, J. M., Ro, K. S., Ok, Y. S., Sigua, G. C., Spokas, K. A., Uchimiya, S. M., Bolan, N. Biochars multifunctional role as a novel technology in the agricultural, environmental, and industrial sectors. *Chemosphere*, v. 142, n. 1, p. 1-3, 2016.
- Oliveira, A. B.; Gomes-Filho, E.; Enéas-Filho, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, v.6, n.11, 2010.
- Oliveira, F. A.; Medeiros, J. F.; Cunha, R. C.; Souza, M. W. L.; Lima, L. A. Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 2, p. 307-315, 2016.
- Petter, F. A. Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado. 2010.130 f. Goiânia: Escola de Agronomia/UFG. 2010. Tese de Doutorado.
- Petter, F. A.; Madari, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v. 16, p. 761-768, 2012.
- Porto Filho, F. Q.; Medeiros, J. F.; Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Sousa, P. S.; Dantas, D. C. Evolução da salinidade e ph do solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 11, p. 1130–1137, 2011.
- 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.
- Ribeiro, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. (Eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza, INCTSal. 2010. p.11-19.
- Ribeiro, M. R.; Freire, F. J.; Montenegro, A. A. A. 2003. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi, N.; Marques, J. J.; Guilherme, L. R. G.; Lima, J. M.; Lopes, A. S; Alvarez, V. H. (eds.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, U. S. Salinity Laboratory, (USDA. Agriculture handbook, 60. 1954.
- Santos, H.G. dos; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumbreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Cunha, T.J.F.; Oliveira, J.B. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- Sharpley, A. N.; Meisinger, J. J.; Power, J. F., Suarez, D. L. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. In: Stewart, B. (Ed.), *Advances in soil science*: Springer. New York: Verlag, 1992. p.151-217.
- Silva, E. M.; Lacerda, F. H. D.; Medeiros, A. S.; Souza, L. P.; Pereira, F. H. F. Métodos de aplicação de diferentes concentrações de H₂O₂ em milho sob estresse salino. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal*, v. 11, n.3, p. 1-7, 2016.

- Smebye, A.; Alling, V.; Vogt, R. D.; Gadmar, T. C.; Mulder, J.; Cornelissen, G.; Hale, S. E. Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition. *Chemosphere*, v. 142, n. 1, p.100-105, 2016.
- Sohi, S. P.; Krull, E.; Lopez-Capel, E.; Bol, R. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, v. 105, p. 47-82, 2010.
- Sousa, G. G.; Lacerda, C. F.; Silva, G. L.; Freitas, C. A. S.; Cavalcante, L. F.; Sousa, C. H. C. Acumulação de biomassa, teores e extração de micronutrientes em plantas de milho irrigadas com águas salinas. *Revista Agropecuária Técnica*, v. 31, n. 2, p. 1-10, 2010.
- Sousa, G. G.; Marinho, A. B.; Albuquerque, A. H. P.; Viana, T. V. A.; Azevedo, B. M. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. *Revista Ciência Agronômica, Fortaleza*, v. 43, n. 2, p. 237-245, 2012.
- Souza, F. G.; Farias, S. A. R.; Ferreira Filho, J. G. A.; Brito, K. Q. D. Comportamento dos teores de sais em perfil de solo com vegetação nativa e culturas irrigadas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n. 2, p. 60-65, 2016.
- Steiner, C.; Das, K. C.; Melear, N.; Lakly, D. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 39, n. 4, p. 1236-1242, 2010.
- Streubel, J. D.; Collins, H. P.; Garcia-Perez, M.; Tarara, J.; Granatstein, D.; Kruger, C. E. Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 75, p. 1402-1413, 2011.
- Thomas, S. C.; Frye, S.; Gale, N.; Garmon, M.; Launchbury, R.; Machado, N.; Melamed, S.; Murray, J.; Petroff, A.; Winsborough, C. Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. *Journal of Environmental Management*, v. 129, n. 1, p. 62-68, 2013.
- Travassos, K. D.; Soares, F. A. L.; Gheyi, H. R.; Silva, D. R. S.; Nascimento, A. K. S.; Dias, N. S. Produção de aquênio de girassol irrigado com água salobra. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 371-376, 2011.
- Uzoma, K. C.; Inoue, M.; Andry, H.; Fujimaki, H.; Zahoor, A.; Nishihara, E. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management*, v. 27, n. 2, p. 205-212, 2011.
- Verheijen, F.; Jeffery, S.; Bastos, A.C.; Velde, M. van der; Diafas, I. Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Luxembourg: European Commission, 2010. 149p.
- Zhang, Y.; Idowu, O. J.; Brewer, C. E. Using agricultural residue biochar to improve soil quality of desert soils. *Agriculture*, v. 6, n. 1, p.1-11, 2016.