

Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.11, n^o.7, p. 1956 - 1965, 2017

ISSN 1982-7679 (On-line)

Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>

DOI: 10.7127/rbai.v11n700662

Protocolo 662.17 – 11/04/2017 Aprovado em 19/07/2017

LIXIVIAÇÃO DE ÍONS EM ARGISSOLO AMARELO TRATADO COM BIOCARVÃO DE CASCA DE COCO SECO E CULTIVADO COM GIRASOL (*Helianthus annus L.*)

Idamar da Silva Lima¹, Maria Isidória Silva Gonzaga², André Quintão de Almeida³, Wendel de Melo Massaranduba⁴

RESUMO

O biocarvão de casca de coco seco tem grande potencial para ser usado como insumo agrícola, porém seu efeito depende do tipo de solo e da dose aplicada. O presente trabalho avaliou o efeito de diferentes doses de biocarvão de casca de coco seco no desenvolvimento e produção de biomassa do girassol (*Helianthus annus L.*) e na concentração de íons nutrientes na solução do solo, em diferentes profundidades de coleta. O experimento de casa de vegetação foi desenvolvido em delineamento de blocos casualizados, com 6 tratamentos (doses de biocarvão: 0; 2,5; 5; 10, 20 e 30 t ha⁻¹) e 5 repetições. Plantas de girassol foram cultivadas por 4 semanas e avaliadas para altura e massa seca. Extratores de solução do solo foram instalados a 20 cm e a 40 cm de profundidade no solo, e as coletas foram realizadas aos 6, 13 e 20 dias após a semeadura para avaliação do pH, CE e concentrações de P, K, NH₄ e NO₃. As plantas cresceram mais nas doses mais altas de biocarvão, porém sem reflexo na massa seca. A presença de biocarvão não influenciou a concentração de NO₃ da solução do solo, mas aumentou a de NH₄, na maior dose e aos 20 dias de avaliação. O biocarvão aumentou a concentração de P e K, a 20 cm de profundidade. O maior efeito foi observado na concentração de K e na CE, aumentando em profundidade e com o aumento da dose de biocarvão, em todas as épocas de avaliação.

Palavras-chave: carbono pirogênico, solução do solo, disponibilidade de nutrientes.

LEACHING OF IONS FROM A YELLOW ULTISOL TREATED WITH COCONUT SHELL BIOCHAR AND CULTIVATED WITH SUNFLOWER (*Helianthus annus L.*)

¹ Eng. Agrônomo, Msc. Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão, Sergipe, CEP: 40100000, email: idamaragro@hotmail.com.

² Departamento de Engenharia Agrônômica-UFS, email: mariaisisilva@gmail.com.

³ Departamento de Engenharia Agrícola-UFS, email: andreqa@gmail.com

⁴ Departamento de Engenharia Agrônômica-UFS, email: wendell.massaranduba@hotmail.com

ABSTRACT

Coconut shell biochar has great potential to be used as soil amendment; however, its effect depends on soil type and rate of application. This study evaluated the effect of different doses of coconut shell biochar on the growth and biomass production of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and on the leaching of nutrient ions in the soil profile. This greenhouse study was carried out as randomized block design, with 6 treatments (biochar doses: 0; 2.5; 5; 10, 20 e 30 t ha⁻¹) and 5 replications. Sunflower plants were cultivated for 4 weeks and evaluated for height and dry mass. Soil solution extractors were installed in each pot, at 20 cm and 40 cm depth to collect the soil solution at 6, 13 and 20 days after sowing. The concentrations of NH₄, NO₃, P and K were determined, as well as soil pH and EC. Plants grew the most at the highest biochar dose, however, no difference was found in plant dry mass. Biochar did not influence NO₃ leaching from soil, but increased the concentration of NH₄, P and K in soil solution. Increasing biochar dose, increased the EC and the leaching of K from soil.

Keywords: pyrogenic carbon, soil solution, availability of nutrients.

INTRODUÇÃO

A inclusão do biocarvão como prática de manejo do solo para fins agronômicos ainda não foi amplamente estabelecida em função da grande variabilidade entre os diferentes tipos de materiais carbonizados. Os resultados de pesquisas mostram efeitos positivos (Petter et al. 2012; Lima, 2014), nulos e até negativos (Biederman e Harpole, 2013) com relação ao efeito dos diferentes tipos de biocarvão no desenvolvimento das plantas, o que torna as investigações com biocarvão de grande interesse prático e científico. O aproveitamento de resíduos sólidos na forma de biocarvão no cultivo do girassol ainda é desconhecido, nem há relatos a respeito da resposta da cultura à presença de biocarvão, contudo, é uma prática que pode associar importantes aspectos ambientais do manejo de resíduos e da produção de culturas com potencial para o programa de biocombustíveis.

Existem vários estudos sobre a utilização de biocarvões produzidos a partir de diferentes tipos de biomassa como madeira, casca de arroz, palha de trigo, cascas de amendoim e esterco de animais (Sohi et al., 2010), porém pouco se sabe sobre a utilização de biocarvão da casca de coco. Testes preliminares mostraram que o material possui elevadas concentrações de potássio,

sódio e fósforo, e que proporciona aumentos na CTC do solo. A maioria dessas características são desejáveis, pois contribuem para aumentar a fertilidade do solo, mas é primordial que haja informação a respeito do efeito desse biocarvão na mobilidade de elementos químicos tanto aqueles presentes na própria composição do biocarvão quanto aqueles adicionados via adubação.

O manejo inadequado de insumos nos sistemas agrícolas pode provocar o excesso de importantes nutrientes nos solos, que podem chegar aos cursos d'água, devido a processos como lixiviação e escoamento superficial (Corriveau et al., 2009). O presente estudo objetivou avaliar o efeito de diferentes doses de biocarvão de casca de coco seco no desenvolvimento e produção de biomassa do girassol e na composição química da solução do solo em diferentes profundidades de coleta.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação com circulação de ar e controle de temperatura, sendo o sistema de resfriamento acionado quando a temperatura interna da estufa atingia 28° C. A cultura utilizada na pesquisa foi

LIXIVIAÇÃO DE ÍONS EM ARGISSOLO AMARELO TRATADO COM BIOCARVÃO DE CASCA DE COCO SECO E CULTIVADO COM GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)

o girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar híbrida Embrapa 122.

O solo utilizado no estudo foi a camada superficial de um solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo coletado no campo experimental da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, com as seguintes características: pH: 4,64, CE: 0,63 mS cm⁻¹ à 25 °C, Matéria orgânica: 11,6 g dm⁻³, CTC: 1,88 cmol kg⁻¹, P: 1,82 mg kg⁻¹, K: 25,4 mg kg⁻¹, Al: 0,45 cmol kg⁻¹, Ca: 0,72 cmol kg⁻¹, Mg: 0,65 cmol kg⁻¹, Areia: 71,6%, Silte: 13,4%, Argila: 15,0% (Silva, 2009).

O biocarvão foi produzido a partir de casca de coco seco, em um forno adaptado e produzido na Universidade Federal de Sergipe utilizando um modelo desenvolvido pela IBI (Iniciativa Internacional de Biocarvão). As amostras do biocarvão foram caracterizadas para matéria volátil, cinzas, carbono fixo (ABNT, 1986), concentrações disponíveis de P e trocáveis de K, Na, Al, Ca e Mg (Silva, 2009). Todas as análises foram realizadas com 3 repetições e reagentes de grau analítico.

O experimento foi disposto em delineamento blocos casualizados, com 6 tratamentos (doses de biocarvão: 0; 2,5; 5; 10; 20 e 30 t ha⁻¹) e 5 repetições, sendo o biocarvão incorporado nos primeiros 20 cm no solo. Após o preenchimento dos vasos, estes foram irrigados e mantidos úmidos até o dia da semeadura, prática necessária para induzir as reações do biocarvão com o solo e promover o equilíbrio do sistema.

Foram semeadas 4 sementes por vaso na profundidade aproximada de 4 cm. Oito dias após a emergência, foi realizado o desbaste deixando em cada vaso a planta mais vigorosa. Foi realizada adubação de plantio com N-P-K no dia da semeadura, sendo respectivamente a uréia, o superfosfato triplo e cloreto de potássio as fontes utilizadas. Trinta dias após a

emergência, realizou-se a adubação de cobertura com nitrogênio na forma de uréia. As adubações de plantio e cobertura foram realizadas com base nas análises de solo e manual de recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo (Boletim 100). A umidade do solo durante o ciclo foi monitorada com o uso de tensiômetros instalados em todos os vasos, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Aos 62 dias após a emergência (DAE), a altura das foi avaliada. Após a colheita, as plantas foram secas em estufa para avaliação da massa seca.

Foram instalados em todos os vasos extratores de solução do solo nas profundidades de 20 e 40 cm. A solução do solo foi coletada após específicos eventos de irrigação, aos 6, 13 e 20 dias após a semeadura (DAS).

Os resultados foram analisados com os programas "R" e SigmaPlot 12.0. Como as doses de biocarvão são consideradas fatores quantitativos (doses em t ha⁻¹), realizou-se análise de regressão associando os coeficientes de correlação ($P < 0,05$) e determinação de cada modelo, utilizando o software R para obtenção da equação e plotagem dos gráficos com o auxílio do SigmaPlot.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito do biocarvão no desenvolvimento e produção de biomassa do girassol

As plantas de girassol cresceram satisfatoriamente no solo tratado com biocarvão, independente da dose aplicada (Figura 1), com altura variando de 104 a 111 cm (Figura 1 A) e massa seca de 75 a 90 g planta⁻¹ (Figura 1 B). A maior dose de biocarvão promoveu aumento significativo da planta, tanto em altura quanto em produção de biomassa, quando comparado ao tratamento sem biocarvão.

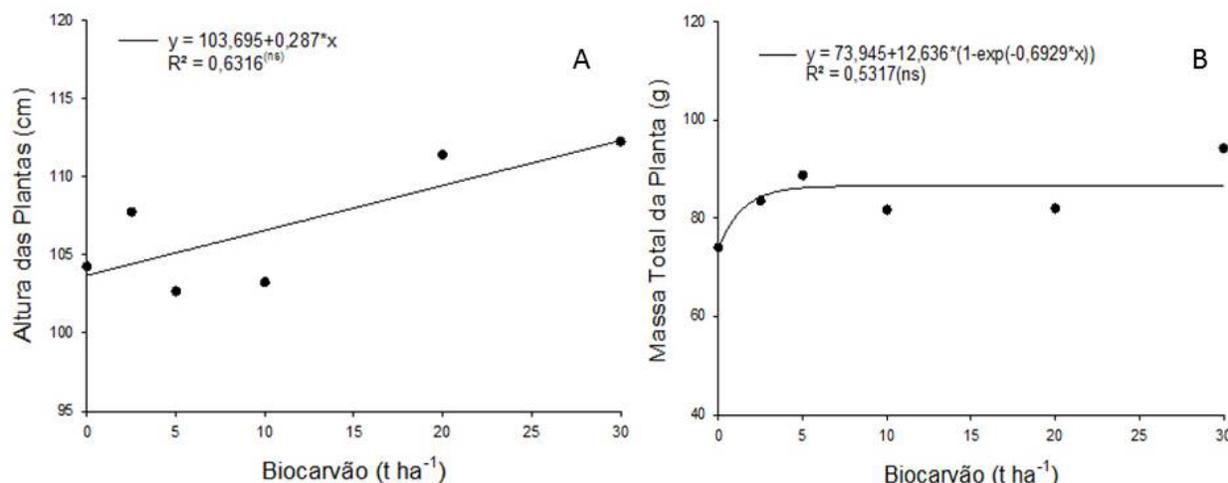


Figura 1. Altura das plantas (A) e Massa seca total da planta (B) em função de doses de biocarcão. R² seguido por ** e *significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e (ns) não significativo. São Cristovão-SE.

No presente estudo, a aplicação de doses de biocarcão abaixo de 30 t ha⁻¹ não resultou em variações significativas nos parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta, o que provavelmente pode estar relacionado às baixas doses aplicadas. Além disso, o girasol é uma planta que apresenta boa capacidade de desenvolvimento em condições edáficas variadas. As características do solo utilizado bem como o manejo adequado da irrigação durante o ciclo da cultura podem também ter contribuído para os resultados obtidos. Sabe-se que o efeito do biocarcão tem maior abrangência em áreas com baixa precipitação pluviométrica e em solos arenosos, onde os benefícios se traduzem em redução nas taxas de aplicação de fertilizantes, pois o biocarcão oferece matriz para a retenção de nutrientes e permanece no solo por muitos anos ou décadas (Alling et al., 2014), podendo ser esse um dos motivos da não influência do biocarcão quando se trata dos parâmetros relacionados a planta, já que todos os tratamentos recebiam a mesma lâmina de irrigação em intervalos pequenos, sendo realizada uma ou duas irrigações por dia caso necessário, para que as plantas em nenhum momento sofressem estresse hídrico, e adubações em quantidade e períodos

recomendados. No entanto, sugere-se a utilização do biocarcão em diferentes lâminas de irrigação e diferentes doses e períodos de adubação.

Essa indiferença do biocarcão de casca de coco aplicado ao solo com relação ao desenvolvimento das plantas também é vista como ponto positivo, pois o biocarcão não se presta apenas a este fim, mas também pode atuar no sequestro de carbono, retenção de água no solo, retenção de elementos nocivos presentes no solo, sem causar quaisquer prejuízos às culturas.

Resultados diferentes foram observados por Lehmann et al. (2003) em trabalho realizado com feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e arroz (*Oryza sativa* L.) em solos tratados com biocarcão produzidos a partir de floresta secundária, onde observaram crescimento de 38% e aumento de 45% na produção de biomassa. Os autores também observaram melhor estado nutricional das plantas cultivadas. Os resultados de Lehmann et al. (2003) podem estar associados ao não uso de adubação, fato esse que pode ter contribuído para potencializar o efeito do biocarcão como fornecedor de nutrientes. Petter et al. (2012) utilizando biocarcão de eucalipto e Lima (2014) utilizando biocarcão de diferentes espécies do cerrado,

LIXIVIAÇÃO DE ÍONS EM ARGISSOLO AMARELO TRATADO COM BIOCÁRVÃO DE CASCA DE COCO SECO E CULTIVADO COM GIRASOL (*Helianthus annuus* L.)

também verificaram melhor desempenho agrônomico e maior produtividade da cultura do arroz de terras altas e soja, respectivamente. Já Biederman e Harpole (2013) e Kammann et al. (2011) observaram reduções na produtividade vegetal em solos tratados com doses elevadas de biocarvão. Lehmann et al. (2006) também obtiveram resultados negativos quando utilizaram doses superiores a 55 t ha⁻¹.

Efeito do biocarvão na composição química da solução do solo

As concentrações de N na forma de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) estão apresentadas na Figura 2 (A e B), respectivamente. Não houve efeito significativo da presença de biocarvão na concentração de NH₄ na solução do solo, aos 6 e 13 DAS, porém, ao 20 DAS, observou-se uma tendência de aumento do NH₄ com o aumento da dose de biocarvão. A forma catiônica do NH₄ favoreceu a interação com as partículas de biocarvão, as quais exibem cargas negativas de superfície, com tendência de maior quantidade dessas cargas à medida que o biocarvão envelhece no solo, pela ativação dos grupos funcionais. Não houve efeito na

concentração de NO₃. Provavelmente as quantidades desses íons presentes no solo eram muito pequenas para que houvesse variação em função dos tratamentos, ou a metodologia usada para determinação desses compostos não possui alto nível de detecção. Há relatos na literatura a respeito da redução nas perdas de N em solos tratados com biocarvão (Lehmann et al., 2003; Ding et al., 2010; Knowles et al., 2011; Yao et al., 2012). Já Alho et al. (2012) verificaram influência do biocarvão nas emissões de óxido nitroso N₂O pelo solo que recebeu adubação nitrogenada na forma de uréia, sendo que doses maiores que 5 t ha⁻¹ contribuíram para uma mitigação das emissões de N₂O, consequentemente contribuindo com uma maior concentração de nitrogênio no solo.

Resultados diferentes foram observados por Ulyett et al. (2014), em estudo de incubação utilizando biocarvão produzido a partir de madeira mista de sicômoro (*Acer pseudoplatanus* L.), carvalho (*Quercus* sp.), faia (*Fagus sylvatica* L.) e bird cherry (*Prunus padus*), onde verificaram interação entre a concentração de nitrato e amônio no solo.

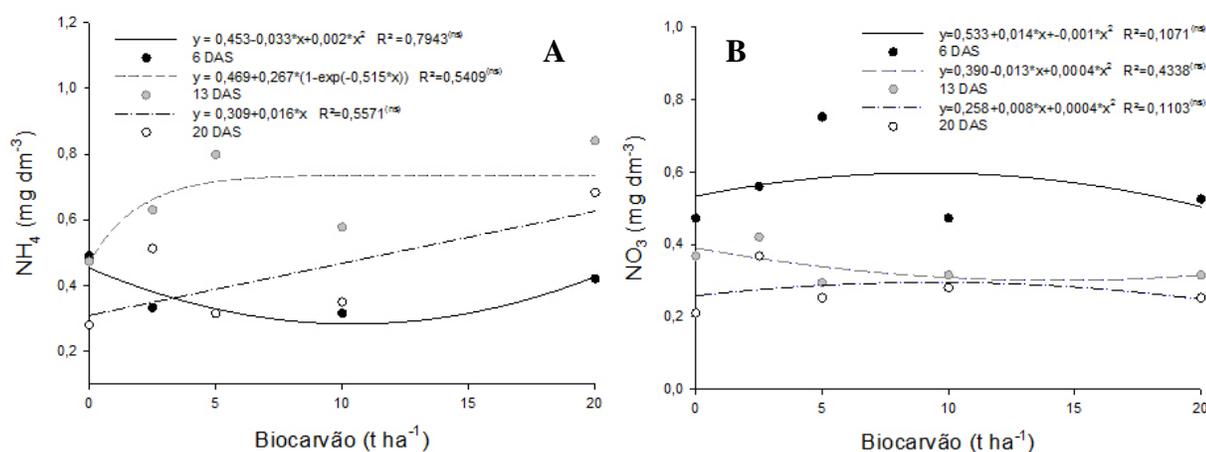


Figura 2. Concentração de amônio (NH₄) e nitrato (NO₃) na solução do solo na profundidade de 20 cm, em função das doses de biocarvão. R² seguido por ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F, e (ns) não significativo. São Cristóvão-SE

Yao et al. (2012), em trabalho desenvolvido em colunas de lixiviação, verificaram menor concentração de nitrato e amônio no lixiviado para alguns biocarvões estudados. Já Lehmann et al. (2003) não só observaram uma redução significativa da lixiviação de compostos nitrogenados com a aplicação do

biocarvão, mas também um maior crescimento e melhor nutrição das plantas cultivadas.

As concentrações de P e de K na solução do solo, coletada a 20 cm (A e C) e a 40 cm (B e D) de profundidade, estão apresentadas na Figura 3.

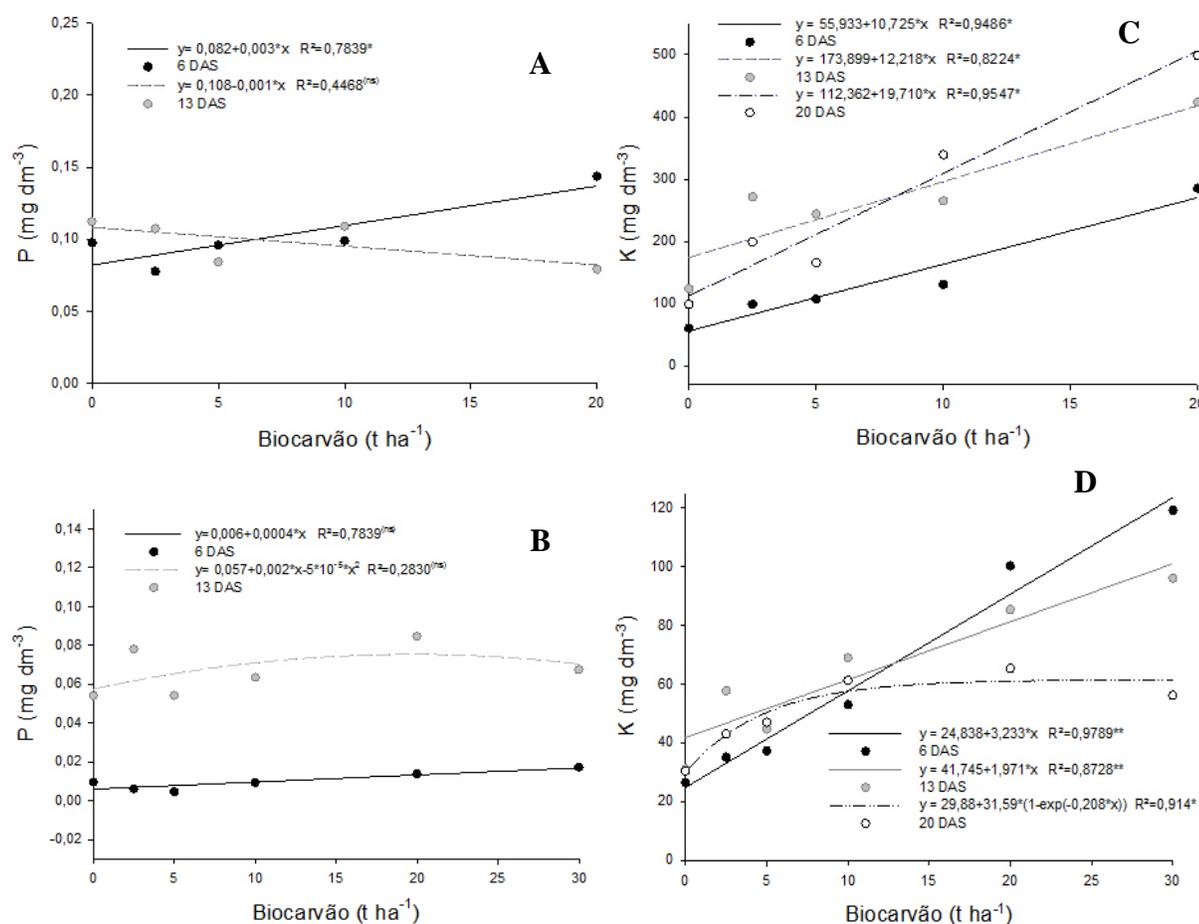


Figura 3. Concentração de fósforo, a 20 cm (A) e a 40 cm (B), e de potássio, a 20 cm (C) e a 40 cm (D), na solução do solo, aos 6, 13 e 20 DAS, em função das doses de biocarvão. R^2 seguido por ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F, e (ns) não significativo. São Cristovão-SE

A concentração de P na solução coletada a 20 cm de profundidade aumentou com o aumento da dose de biocarvão aos 6 DAS, e reduziu com o aumento da dose de biocarvão aos 13 DAS, sugerindo que o biocarvão também possui capacidade de retenção de ânions e que essa característica se intensifica com o tempo de contato com o solo. Pode também ter ocorrido a formação de compostos insolúveis,

pois o P se apresenta no solo nas formas dos íons ortofosfato $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} , dependendo do pH (Halvin et al., 2005), podendo formar esse compostos com o ferro, alumínio e manganês, compostos comumente encontrados no solo usado no estudo.

As concentrações de P foram menores na solução coletada a 40 cm do que a 20 cm, porém, é interessante notar que, independente do

LIXIVIAÇÃO DE ÍONS EM ARGISSOLO AMARELO TRATADO COM BIOCÁRVÃO DE CASCA DE COCO SECO E CULTIVADO COM GIRASOL (*Helianthus annuus* L.)

tratamento, a concentração de P aumentou na coleta dos 13 DAS, indicando que houve significativa lixiviação de P em profundidade, com o tempo, resultado da natureza arenosa do solo usado no estudo (72% de areia). Esse fato possivelmente está associado à liberação de fósforo pelo adubo fosfatado aplicado na semeadura. A presença de biocárvão não impediu a movimentação do P no solo, provavelmente devido às baixas taxas de aplicação. Yao et al. (2012), utilizando colunas de lixiviação com biocárvão de diferentes matérias primas e temperaturas, observaram que dois biocárvões produzidos a 600° C apresentaram correlação com a concentração desse elemento no lixiviado, tendo o biocárvão de pimenta rosa contribuído com a redução desse elemento na concentração do lixiviado e o biocárvão de casca de amendoim contribuído positivamente. Morales (2010), utilizando como matéria prima biomassa de capim elefante, serragem, madeira e palha de cana-de-açúcar, também encontrou resultados semelhantes, verificando uma maior dessorção de P, tendo atribuído esse resultado a grande concentração de P presente no biocárvão, igual a 1484 mg kg⁻¹.

Já as concentrações de K apresentaram resposta positiva e linear com relação ao aumento da quantidade de biocárvão. Ao contrário da baixa concentração de N no biocárvão e no solo, as concentrações de K no biocárvão são relativamente altas (Tabela 1), o que provavelmente responde pelo significativo aumento desses elementos na solução do solo com o aumento das doses de biocárvão. Ao observar os resultados do K a 20 cm (Figura 3C), verifica-se que, nos tratamentos que receberam as duas maiores doses de biocárvão, as concentrações de K na terceira coleta foram superiores a primeira e a segunda coletas, indicando que o K continua sendo liberado pelo biocárvão com o passar do tempo. De acordo com Restrepo (1994), o biocárvão tem a capacidade de reter e liberar nutrientes para os vegetais, de forma gradual. Esse aumento na

concentração de P em um curto período e K na solução do solo em função das doses de biocárvão não resultaram em mudanças no desenvolvimento das plantas de girassol, o que sugere um consumo de luxo por parte das plantas, onde ocorre uma maior absorção de determinado nutriente sem que ocorra aumento da produtividade. Gaskin et al. (2010) observou maior concentração de K nos tecidos das plantas cultivadas em solo tratado com biocárvão de casca de amendoim, porém esse aumento não proporcionou ganhos de produtividade.

Diferente do fósforo, o potássio na solução coletada a 40 cm apresentou interferência significativa dos tratamentos, em todas as coletas (Figura 3D), causando um aumento com comportamento linear para a primeira e segunda coleta, e um comportamento exponencial com certa estabilização nos valores do K próximos a dose de 10 t ha⁻¹, para a terceira coleta. Esse aumento no fluxo de K para as camadas mais profundas do solo em função das doses sugere que o biocárvão contribui para a maior lixiviação desse elemento, aumento esse que provavelmente foi causado pela grande quantidade de K fornecido pelo biocárvão, visto que esse é um elemento presente em grande quantidade nesse material (Tabela 1). Portanto, a adição de biocárvão em solos excessivamente arenosos, apesar de promover melhores respostas em termos de produtividade das culturas e melhoria da qualidade do solo, deve levar em consideração a concentração de elementos químicos em sua composição, os quais podem ser disponibilizados para a solução do solo e potencialmente removidos do sistema.

O aumento da concentração de K na solução do solo, e provavelmente de Na, visto que esses são elementos abundantes no biocárvão de casca de coco, possivelmente foram os elementos que mais contribuíram para o aumento nos valores da condutividade elétrica (CE) da solução do solo (Figura 4 A e B). A elevação da CE pode causar problemas e limitar o aproveitamento do biocárvão como insumo e condicionador de solo, pois o aumento da

salinidade na solução pode tornar o solo salino e impróprio ao cultivo. Solos salinos apresentam grande diminuição da disponibilidade de água, pois aumenta a pressão osmótica na solução do solo, o que pode inibir o crescimento e eventualmente causar senescência do vegetal.

O pH da solução do solo apresentou valores relativamente altos para todos os tratamentos, em todas as coletas (Figura 4 C e D). Esses valores possivelmente sofreram influência da água utilizada na irrigação (pH 7,3). O único momento em que pode-se observar

influência dos tratamentos foi na terceira coleta, sendo verificado um comportamento exponencial do pH em função das doses de biocarvão. A elevação do pH do solo pela adição de biocarvão é um aspecto desejável do uso desse material, principalmente em solos tropicais muito intemperizados e de elevada acidez. Andrade et al. (2015), em experimento de incubação utilizando biocarvão de cama de franco, observou aumento no pH do solo após 68 dias.

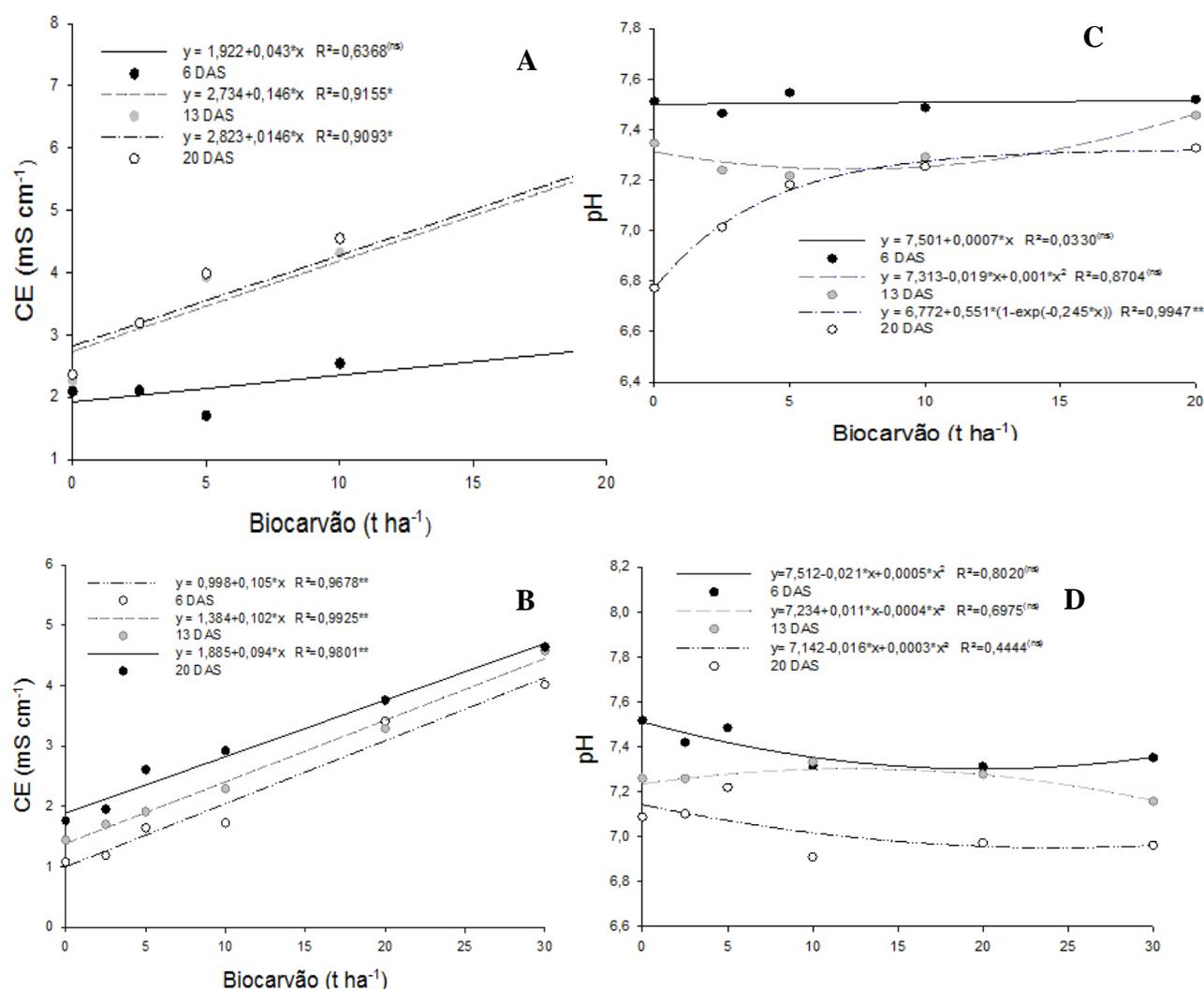


Figura 4. Condutividade elétrica, a 20 cm (A) e a 40 cm (B), e pH, a 20 cm (A) e a 40 cm (B), na solução do solo em função das doses de biocarvão., R² seguido por ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e ^(ns) não significativo. São Cristóvão-SE.

CONCLUSÃO

1. A adição de biocarvão de casca de coco seco ao solo para o cultivo de girasol não influenciou no desenvolvimento da planta, mas aumentou as concentrações de N, P e K na solução do solo a 20 cm de profundidade. O aumento do K e P em profundidade indicou que houve lixiviação desses elementos.
2. O aumento da quantidade de biocarvão provocou aumento da condutividade elétrica da solução, o que pode ser um fator limitante na sua aplicação no solo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Carvão Vegetal - Análise Imediata. NBR-8112 (MB1857), 1986.
- ALHO, C. F. B. V.; CARDOSO, A. da S.; ALVES, B. J. R.; NOVOTNY, E. H. Biochar and soil nitrous oxide emissions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 722-725, 2012.
- ALLING, V.; HALE, S.E.; MARTINSEN, V.; MULDER, J. SMEBYE, A.; REEDVELD, G.D.; CORNELISSEN, G. The role of biochar in retaining nutrients in amended tropical soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, p. 671-680, 2014.
- ANDRADE, C.A.; BIBAR, M.P.S.; COSCIONE, A.R.; PIRES, A.M.M.; SOARES, Á.G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.50, n.5, p.407-416, 2015.
- BIEDERMAN, L.A.; HARPOLE, W.S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. **GCB Bioenergy**, v.5, p.202-214, 2013.
- CORRIVEAU, J.; VAN BOCHOVE, E.; SAVARD, M. M.; CLUIS, D.; PARADIS, D. Occurrence of High In-Stream Nitrite Levels in a Temperate Region Agricultural Watershed. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 206, p. 335-347, 2009.
- DING, Y.; LIU, Y.-X.; WU, W.-X.; SHI, D.-Z.; YANG, M.; ZHONG, Z.-K. Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns. **Water Air Soil Pollution**, v.213, p.47-55, 2010.
- FAO - **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**. 2013. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>> Acesso em 16 de dezembro de 2015.
- GASKIN, J.W. ; SPEIR, R. A.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; LEE, R. D.; MORRIS, L. A.; Fisher, D.S. Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield. **Agronomy Journal**, v. 102, p. 623-633, 2010.
- HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L. e NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 7ed. New Jersey: Pearson- prentice hall, 2005. 219p.
- KAMMANN, C.I.; LINSEL, S.; GÖBLING, J.W.; KOYRO, H.W. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Wild and on soil-plant relations. **Plant and Soil**, v.345, p.195-210, 2011.
- KNOWLES, O.A.O.; ROBINSON, B.H.B.; CONTANGELO, A.A.; CLUCAS, L.L. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil

amended with biosolids. **Science of the Total Environment**, v.409, p. 3206-3210, 2011.

LEHMANN J, SILVA JUNIOR, 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**, v.249, p.343–357, 2003.

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

LIMA, L.B. **Desempenho agrônômico da soja, fertilidade e dinâmica da matéria orgânica em solo sob aplicação de biochar no cerrado brasileiro**. 2014. 81p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás Goiânia, Goiânia, 2014.

MORALES, M. M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP. Campus de Botucatu-SP. 2010.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S. da; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO,

M. T. de M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 699-706, 2012.

RESTREPO, R..J. **La idea y el Arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados: aportes y recomendaciones ; una experiencia de agricultores en Centroamérica y Brasil**. Cali: SIMAS, 1998.

SILVA, F.C. (Ed.). **Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 2009.

SOHI, S.P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E. & BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. In: SPARKS, D.L. (Ed.) **Advances in Agronomy**. Publisher Elsevier Academic Press Inc., San Diego, 2010, p.47-82.

ULYETT, J.; SAKRABANI, R.; KIBBLEWHITE, M.; HANN, M. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. **European Journal Of Soil Science**, v.65, p.96-104, 2014.

YAO, Y.; GAO, B.; ZHANG, M.; INYANG, M.; ZIMMERMAN, A.R. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. **Chemosphere**, v.89. p. 1467–1471, 2012.