

## **CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM BIOCARVÕES SOB DIFERENTES pH DE SOLUÇÕES RESIDUÁRIAS**

Rafaela Batista Magalhães<sup>1</sup>, José Lucas Martins Melo<sup>2</sup>, John Lenon Vasconcelos Fonteles<sup>2</sup>,  
Francisca Gleiciane da Silva<sup>3</sup>, Rafael Santiago da Costa<sup>4</sup>, Mirian Cristina Gomes Costa<sup>5</sup>

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do pH inicial na capacidade de adsorção de fósforo em dois biocarvões, utilizando como fonte soluções residuárias de água de hidroponia e de digestato. O delineamento experimental foi inteiramente causalizado, em esquema fatorial 2 x 6. No primeiro fator de tratamento foram estudadas as duas soluções de enriquecimento (água de hidroponia e digestato), enquanto no segundo fator foram testados seis valores de pH no meio reacional (5, 6, 7, 8, 9 e 10). O experimento foi realizado com três repetições que totalizarão 36 unidades experimentais. O pH das soluções foi ajustado com soluções de NaOH (0,1 M) e HCl (1 M). O teor de fósforo foi obtido por meio de colorimetria em espectrofotômetro. A partir dos resultados obtidos foi calculado a capacidade de adsorção do P nos biocarvões. A capacidade de adsorção de fósforo dos dois biocarvões utilizando água de hidroponia com diferentes pH apresentou ajuste significativo para o modelo linear. Já para o digestato, o modelo que apresentou ajuste significativo para os dois biocarvões foi o polinomial quadrático. O biocarvão de lodo + poda resultou em maior capacidade de adsorção (0,66 mg do nutriente/g biocarvão na água de hidroponia e 1,6 mg do nutriente/g biocarvão no digestato) em comparação com o biocarvão de bagaço de caju nas duas soluções de enriquecimento. Conclui-se que o pH 10, em combinação com o biocarvão de lodo de esgoto com poda de cajueiro, resultou na maior capacidade de adsorção de fósforo.

**PALAVRAS-CHAVE:** biochar; digestato; hidroponia

<sup>1</sup> Pesquisadora visitante e pós-doutoranda em Ciência do Solo, UFC, Fortaleza, Ceará, email: rafaela.bm@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutorando em Ciência do Solo, UFC, Fortaleza, Ceará.

<sup>3</sup> Pós-doutoranda em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará,

<sup>4</sup> Doutor em Fitotecnia, CAGECE, Fortaleza, Ceará.

<sup>5</sup> Prof (a). Doutora, Departamento de Ciência do Solo, UFC, Fortaleza, Ceará.

## PHOSPHORUS ADSORPTION CAPACITY IN BIOCHARS UNDER DIFFERENT WASTEWATER SOLUTION PH LEVELS

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the effect of initial pH on the phosphorus adsorption capacity of two biochars, using wastewater solutions from hydroponic water and digestate as sources. The experimental design was completely randomized, following a 2 x 6 factorial scheme. The first treatment factor investigated the two enrichment solutions (hydroponic water and digestate), while the second factor tested six pH values in the reaction medium (5, 6, 7, 8, 9, and 10). The experiment was conducted with three repetitions, totaling 36 experimental units. The pH of the solutions was adjusted with NaOH (0.1 M) and HCl (1 M) solutions. The P content was determined by colorimetry using a spectrophotometer. The P adsorption capacity of the biochars was calculated from the obtained results. The phosphorus adsorption capacity of the two biochars using hydroponic water at different pH values showed a significant fit for the linear model. For the digestate, the quadratic polynomial model showed a significant fit for both biochars. The sludge + pruning biochar resulted in a higher adsorption capacity (0.66 mg of nutrient/g biochar in hydroponic water and 1.6 mg of nutrient/g biochar in digestate) compared to the sugarcane bagasse biochar in both enrichment solutions. It is concluded that pH 10, in combination with sewage sludge and cashew pruning residue biochar, resulted in the highest phosphorus adsorption capacity.

**KEYWORDS:** biochar; digestate; hydroponics

## INTRODUÇÃO

O fósforo é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, fazendo com que tenha energia para que chegue ao estágio de produção, influenciando diretamente a produtividade agrícola. Para isso é necessário o fornecimento desse elemento através de fontes, seja as mais tradicionais (ex. cloreto de potássio) ou fontes alternativas. A necessidade por fontes alternativas de nutrientes vem se intensificando ao longo dos anos, pois com o crescimento populacional, guerras, alterações climáticas, degradação do solo e a limitação das fontes naturais fazem com que haja intensificação nas pesquisas sobre a utilização de resíduos como fontes de nutrientes na agricultura. O setor agroindustrial produz toneladas de resíduos por ano, no qual o possível reaproveitamento é a produção do biocarvão como condicionador de solos.

O biocarvão é um material carbonáceo, produzido quando materiais orgânicos sofrem decomposição térmica em um ambiente com disponibilidade limitada de oxigênio (GUPTA; KUA; KOH, 2018). Sua utilização na agricultura tem proporcionado significativos ganhos de produtividade, proporcionando sequestro de carbono, influenciando positivamente na qualidade e fertilidade do solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes e a atividade microbiana e diminuição da lixiviação de nutrientes do solo (SHANMUGAM et al., 2022; SEMIDA et al., 2019; TRAZZI et al., 2018). Além ter a origem de resíduos reaproveitados, o biocarvão também pode ser enriquecido com outros resíduos após sua produção.

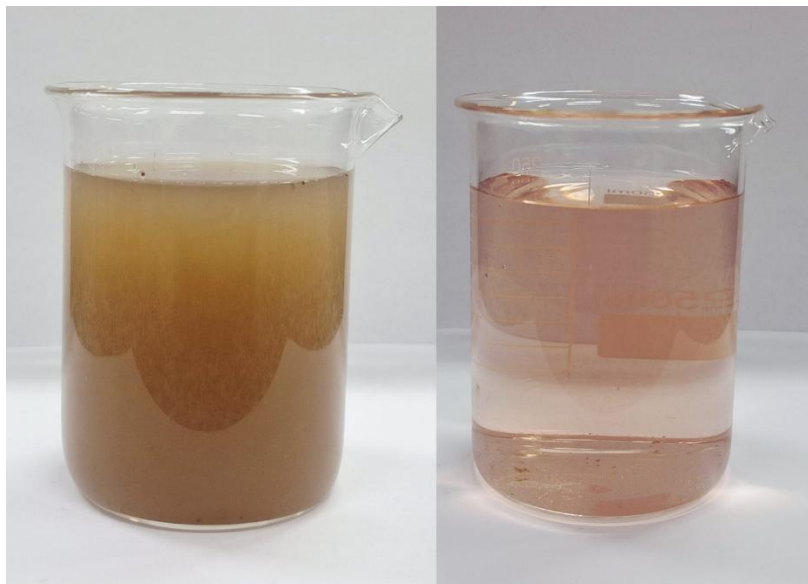
Biocarvões enriquecidos com resíduos representam reaproveitamento de nutrientes dos resíduos, contribuindo com a economia circular, além de aumentarem a fertilidade do solo favorecendo a agricultura sustentável (KARIN et al., 2021). Produtos como a água residuária de hidroponia e o digestato podem ser utilizados para o enriquecimento do biocarvão, pois são ricos em nutrientes. Na hidroponia, as plantas são cultivadas sem solo, recebendo diretamente uma solução nutritiva aquosa que lhes fornece os elementos essenciais para o desenvolvimento (RAJENDRAN et al., 2024). Já o digestato é um material residual (resíduos orgânicos), sólido ou líquido, proveniente de uma digestão anaeróbica em reatores, no qual pode ser usado com um biofertilizante, pois é rico em nutrientes biodisponíveis (KIZITO et al., 2019; SONG et al., 2021).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do pH inicial na capacidade de adsorção de fósforo em dois biocarvões, utilizando como fonte soluções residuárias de água de hidroponia e de digestato.

## MATERIAL E MÉTODOS

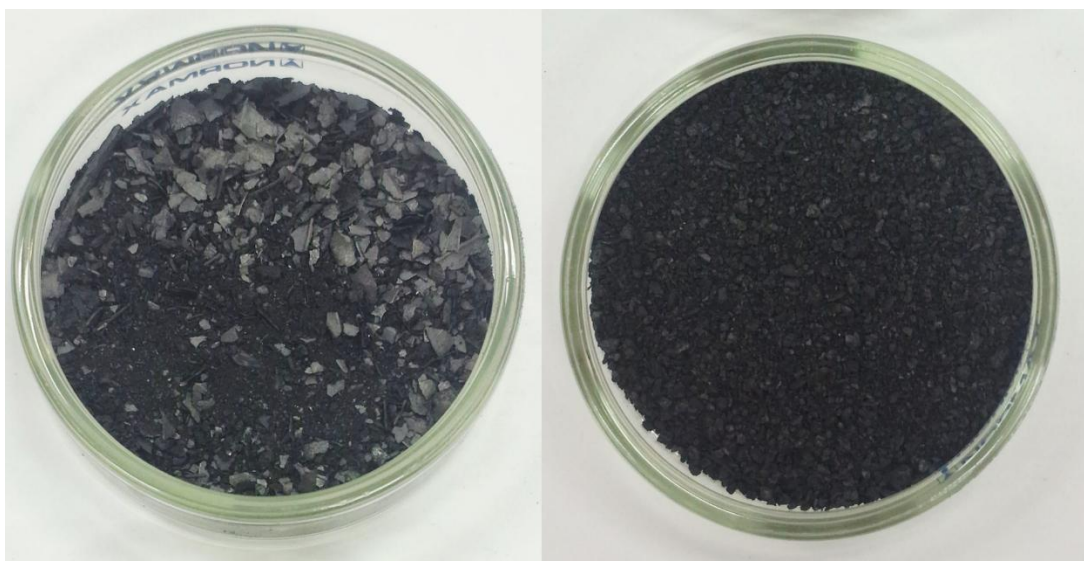
O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Manejo do Solo, da Universidade Federal do Ceará. A coleta da solução residuária de hidroponia foi realizada em empresa produtora de hortaliças, localizada no município de Eusébio, Ceará. O digestato foi coletado em um reator (biodigestor) que realiza a digestão anaeróbia por via úmida de resíduos provenientes de restaurantes universitários, localizado no Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC). Trata-se de um biodigestor de plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) com fundo cônico, diâmetro interno de 2,0 m, altura de 6,0 m e capacidade aproximada de 22 m<sup>3</sup>. O reator contém pontos de coleta e recirculação a cada 1,5 m de altura e a recirculação do material nele contido se dará por meio de bombeamento. Além disso, o

biodigestor possui manômetro, medidor de temperatura e de pH para acompanhar as condições da digestão anaeróbia e qualidade do digestato. Os resíduos foram triturados e homogeneizados com a adição de água para facilitar o processo de trituração e auxiliar na passagem da massa pastosa pela tubulação do reator. O inóculo utilizado foi lodo oriundo de reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB).



**Figura 1.** Soluções residuárias de digestato (A) e água de hidroponia (B).

Foram utilizados dois tipos de biocarvão: um produzido a partir de lodo de esgoto com resíduos de poda (Figura 1A) e outro a partir de bagaço de caju (Figura 1B). O biocarvão de lodo de esgoto com resíduo de poda de cajueiro foi produzido por co-pirólise na proporção de 1:1 (m/m). A carbonização pirolítica foi realizada em reator com atmosfera controlada, a 550 °C, durante 90 minutos.



**Figura 2** –Biocarvão de lodo de esgoto com resíduo de poda de cajueiro (A) e de bagaço de caju (B).

O delineamento experimental foi inteiramente causalizado, em esquema fatorial 2 x 6. No primeiro fator de tratamento foram estudadas as duas soluções de enriquecimento (água de hidroponia e digestato), enquanto no segundo fator foram testados seis valores de pH (5, 6, 7, 8, 9 e 10). O experimento foi realizado com três repetições que totalizarão 36 unidades experimentais. O pH das soluções foi ajustado com soluções de NaOH (0,1 M) e HCl (1 M) (FÉLIX, 2018). Mediante estabilização do pH, as amostras foram filtradas sob vácuo, por membranas com porosidade de 0,45 µm. O teor de fósforo foi obtido por meio de colorimetria em espectrofotômetro. A capacidade de adsorção dos carvões para os nutrientes foi calculada com base na Equação (1),

$$q_e = \frac{(C_0 - C)}{m} \cdot V \quad (1)$$

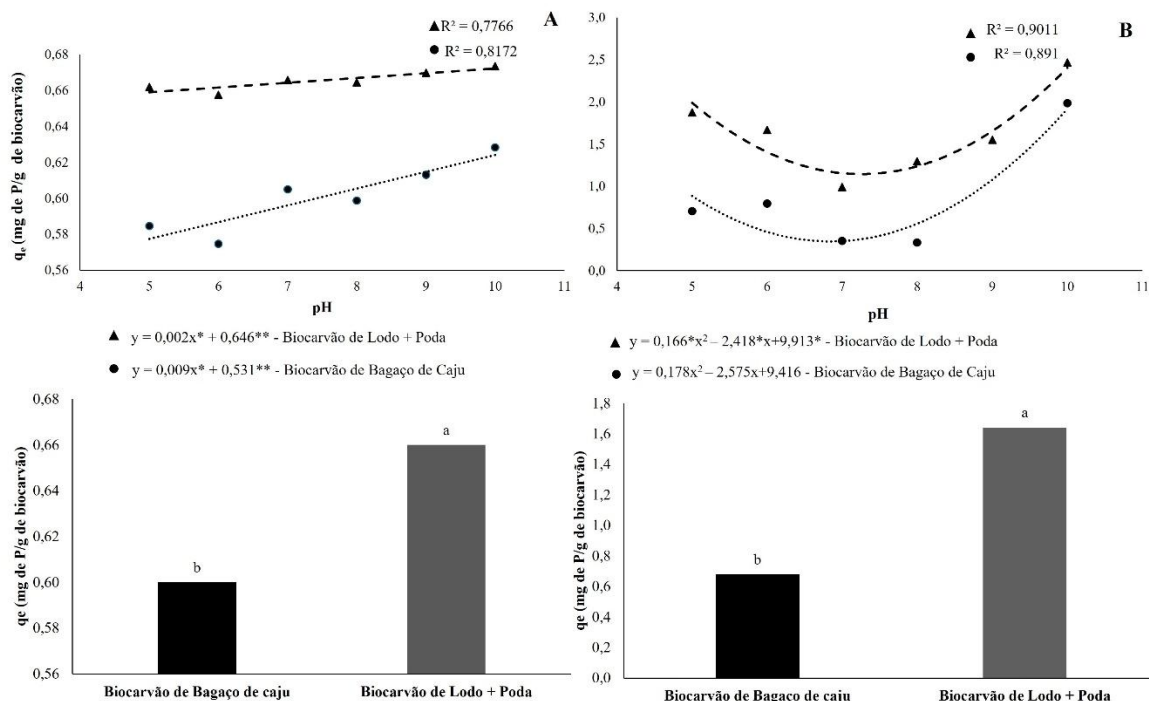
em que:  $q_e$  – capacidade de adsorção (mg do nutriente/g biocarvão),  $C_0$  – concentração inicial do nutriente (mg/L),  $C$  – concentração final do nutriente (mg/L),  $m$  – a massa utilizada de biocarvão (g) e  $V$  – o volume utilizado de solução (L). Os dados de capacidade e eficiência de adsorção dos nutrientes foram analisados estatisticamente com avaliação prévia da normalidade dos dados. Foi utilizado o software SAS para realização das análises estatísticas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A capacidade de adsorção de fósforo dos dois biocarvões utilizando água de hidroponia com diferentes pH apresentou ajuste significativo para o modelo linear, no qual o pH 10 resultou na maior média de capacidade de adsorção (Figura 1A). Já para o digestato, o modelo que apresentou ajuste significativo para os dois biocarvões foi o polinomial quadrático (Figura 1B). O valor mínimo estimado para o biocarvão de bagaço de caju foi 0,10 (mg do nutriente/g biocarvão) no pH de 7,19, enquanto para o bioarvão de lodo + poda o valor mínimo estimado foi 1,10 (mg do nutriente/g biocarvão) no pH 7,25. O comportamento quadrático do digestato pode está ligado a complexidade do digestato, no qual pode haver uma variedade de outros íons e matéria orgânica (AKHIAR, A. et al., 2017) que podem influenciar a adsorção do fósforo.

O biocarvão de lodo de esgoto + poda de cajueiro resultou em maior capacidade de adsorção (0,66 mg do nutriente/g biocarvão na água de hidroponia e 1,6 mg do nutriente/g biocarvão no digestato) em comparação com o biocarvão de bagaço de caju nas duas soluções de enriquecimento (Figura 1C e 1D). Esse resultado pode está ligado a maior presença de sítios

de ligações positivas presentes no biocarvão de lodo de esgoto + poda de cajueiro em relação ao biocarvão de bagaço de caju, no qual o íon fosfato que possui carga negativa irá ficar adsorvida nas cargas positivas presentes na superfície do biocarvão. Ao analisarem a adsorção de fosfato, Xu et al., (2018) verificaram que o biocarvão de lodo de esgoto é um adsorvente eficaz na remoção e recuperação de fósforo em água residuais, corroborando com os resultados obtidos neste estudo.



**Figura 1.** Valores de capacidade de adsorção do fósforo no biocarvão de bagaço de caju e no biocarvão de lodo + poda a partir de uma solução resíduária de água de hidroponia e digestato.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que as soluções de água da hidroponia e do digestato com pH inicial igual a 10, associadas ao biocarvão produzido a partir de lodo + poda, demonstraram a maior capacidade de adsorção de fósforo.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), processo nº 06670855/2021,



ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical-INCTAGriS (CNPq/Funcap/Capes), processos 406570/2022-1 (CNPq) e processo INCT-35960-62747.65.95/51 (Funcap), FINEP (processo nº 0122017200), Universal CNPq, Universal Funcap e CNPq pela concessão da bolsa de pós-doutorado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKHIAR, A.; BATTIMELLI, A.; TORRIJOS, M.; CARRERE, H. Comprehensive characterization of the liquid fraction of digestates from full-scale anaerobic co-digestion. **Waste Management**, v. 59, p. 118-128, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.005>
- FÉLIX, A. C. M. **Enriquecimento de “biochars” e carvões ativados com Fósforo** – 2018. 98f. Dissertação. Universidade Nova Lisboa. 2018.
- GUPTA, S.; KUS, H. W.; KOH, H. J. Application of biochar from food and wood waste as green admixture for cement mortar. **Science of the Total Environment**, v. 619 620, p. 419–435, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.044>
- KARIN, A. A.; KUMAR, M.; SINGH, E.; KUMAR, A.; KUMAR, S.; RAY, A.; DHAL, N. K. Enrichment of primary macronutrients in biochar for sustainable agriculture: A review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 52, p. 1449–1490, 2022. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1859271>
- KIZITO, S.; LUO, H.; LU, J.; BAH, H.; DONG, R.; WU, S. Role of nutrient-enriched biochar as a soil amendment during maize growth: exploring practical alternatives to recycle agricultural residuals and to reduce chemical fertilizer demand. **Sustainability**, v. 11, 3211, 2019. doi:10.3390/su11113211
- RAJEFRAN, S.; DOMALACHENPA, T.; ARORA, H.; LI, P.; SHARMA, A.; RAJAURIA, G. Hydroponics: Exploring innovative sustainable technologies and applications across crop production, with Emphasis on potato mini-tuber cultivation. **Heliyon**, v. 10, p 1-14, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26823>
- SEMIDA, W. M.; BEHEIRY, H. R.; SÉTAMOU, M.; SIMPSON, C. R.; EL MAGEED, A.; RADY, M. M.; NELSON, S. D. Biochar implications for sustainable agriculture and environment: A review. **South African Journal of Botany**, v. 127, p. 333 – 347, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.015>

SHANMUGAM, V.; SREENIVASAN, S. N.; MENSAH, R. A.; FORSTH, M.; SAS, G.; HEDENQVIST, M. S.; NEISIANY, R. E.; TU, Y.; DAS, O. A review on combustion and mechanical behaviour of pyrolysis biochar. **Materials Today Communications**, v. 31, 103629, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103629>

SONG, S.; LIM, J. W.; LEE, J. T. E.; CHEONG, J. C.; HOY, S. H.; HU, Q.; TAN, J. K. N.; CHIAM, Z.; ARORA, S.; LUM, T. Q. H.; LIM, E. Y.; WANG, C.; TAN, H. T. W.; TONG, Y. W. Food-waste anaerobic digestate as a fertilizer: The agronomic properties of untreated digestate and biochar-filtered digestate residue. **Waste Management**, v. 136, p. 143-152, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.10.011>

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MAGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 875-887, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832128>

XU, G.; ZHANG, Z.; DENG, L. Adsorption Behaviors and Removal Efficiencies of Inorganic, Polymeric and Organic Phosphates from Aqueous Solution on Biochar Derived from Sewage Sludge of Chemically Enhanced Primary Treatment Process. **Water**, v.10, 1-12, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10070869>