INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO DE BIOCARVÕES EM MEIO AQUOSO

Adriel de Jesus Santos [1]; Ana Lara Araújo Santos [2]; Louis Alberto Santos Bomfim Costa [3]; Luís Felipe Costa da Silva [4]; Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas [5]; Denise Conceição de Gois Santos Michelan [6]

RESUMO – A escassez hídrica e as limitações no saneamento em regiões semiáridas exigem tecnologias sustentáveis e de baixo custo para o tratamento de água. Nesse contexto, o biocarvão de casca de batata (*Solanum tuberosum* L.), oriundo de resíduos agroindustriais e alinhado à economia circular, apresenta-se como alternativa promissora, embora ainda sejam pouco conhecidos os efeitos de sua lixiviação em relação às condições de produção e às suas propriedades. Assim, este estudo objetivou avaliar o comportamento do biocarvão sobre parâmetros físico-químicos da água, considerando diferentes condições de produção. O material foi produzido em forno mufla, com temperaturas variando entre 350 °C e 550 °C e tempo de residência entre 25 e 40 minutos, sendo os ensaios realizados com água destilada sob agitação. Os resultados indicaram comportamento alcalino, com aumento da cor verdadeira, turbidez e condutividade elétrica, além de correlações significativas entre pH, cor e turbidez. Contudo, apesar das elevações iniciais nos parâmetros analisados, não se observou correlação com as condições de produção, indicando estabilidade do material e potencial aplicação em sistemas de tratamento de água, devido à baixa dependência de ajustes nas condições de síntese, tornando-o promissor para tecnologias sustentáveis de baixo custo.

ABSTRACT – Water scarcity and sanitation limitations in semi-arid regions demand sustainable and low-cost technologies for water treatment. In this context, potato peel biochar (*Solanum tuberosum* L.), derived from agro-industrial waste and aligned with the circular economy, presents itself as a promising alternative, although the effects of its leaching on production conditions and its properties are still poorly understood. Thus, this study aimed to evaluate the behavior of biochar on the physicochemical parameters of water, considering different production conditions. The material was produced in a muffle furnace, with temperatures between 350 °C and 550 °C and residence time between 25 and 40 minutes, with tests performed using distilled water under agitation. The results indicated alkaline behavior, with an increase in true color, turbidity, and electrical conductivity, as well as significant correlations between pH, color, and turbidity. However, despite the initial increases in the analyzed parameters, no correlation was observed with the production conditions, indicating the material's stability and potential application in water treatment systems, due to its low dependence on adjustments in the synthesis conditions, making it promising for low-cost sustainable technologies.

Palavras-Chave - *Solanum tuberosum* L.; Economia circular; Escassez hídrica.

[1]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: 79 9 9925-5943. E-mail: engadriel.ufs@gmail.com
[2]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: 79 9 9930-1220. E-mail: analarah.santos@gmail.com
[3]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: 79 996840702. E-mail: tec.louisengagri@gmail.com
[4]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: 79 9 9627-5443. E-mail: academico56silva@gmail.com
[5]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: 79 99155-1776. E-mail: aatlucas@academico.ufs.br
[6]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: (79) 99130-4658. E-mail: denisegois@academico.ufs.br

1. INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos potáveis e as persistentes deficiências na cobertura de saneamento básico constituem desafios críticos para a saúde pública global, afetando diretamente cerca de um terço da população mundial (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* — FAO, 2023). Além disso, quando se consideram os padrões de acesso à água, em termos de quantidade, qualidade e regularidade, observa-se um cenário crítico quanto à democratização do acesso à água em diversas regiões, como nas comunidades rurais do semiárido brasileiro (Cunha, 2020).

Conforme *United Nations* — UN (2015), para mitigar esses impactos, a Agenda 2030 estabeleceu metas globais por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como o ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), incentivando o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, de baixo custo e aplicáveis a sistemas descentralizados de saneamento.

Nesse contexto, o desenvolvimento de materiais como o biocarvão (ou *biochar*) torna-se relevante, por se tratar de um material carbonáceo poroso, rico em carbono fixo, obtido por meio da conversão termoquímica (pirólise) de biomassas residuais em ambiente com restrição de oxigênio (Lehmann; Joseph, 2015). Ademais, a utilização de resíduos agroindustriais como matéria-prima possibilita sua destinação adequada, contribuindo para a mitigação de passivos ambientais que, de outra forma, podem favorecer a emissão de gases de efeito estufa e a contaminação do solo em decorrência de sua decomposição inadequada (FAO, 2023), além de promover os princípios da economia circular.

Entre as biomassas alternativas, a casca da batata (*Solanum tuberosum* L.) apresenta expressivo interesse devido ao volume gerado mundialmente pelo setor de alimentos processados (Daimary *et al*., 2021). Assim, o volume do resíduo agroindustrial amplia seu potencial de aproveitamento em tecnologias sustentáveis voltadas ao tratamento de água, especialmente em regiões semiáridas e áreas de Caatinga, onde soluções descentralizadas e de baixo custo são estratégicas para a resiliência hídrica (Silva *et al*., 2018; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada — IPEA, 2024).

Contudo, apesar do crescente número de pesquisas dedicadas a demonstrar a eficiência do biocarvão na remoção de micropoluentes e metais tóxicos via adsorção (Oliveira; Barbosa; Mendonça, 2023), identifica-se uma lacuna científica relacionada às avaliações preliminares sobre a possível liberação de compostos solúveis e às alterações físico-químicas da água após o contato com o material, aspectos ainda pouco explorados na literatura. Isso se deve ao fato de que a introdução de

materiais porosos em meio aquoso pode promover a lixiviação de cinzas minerais e matéria orgânica dissolvida, resultando em alterações nos parâmetros estéticos e físico-químicos da solução (Gao *et al*., 2020; Li *et al*., 2022).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do biocarvão de casca de batata (*Solanum tuberosum* L.) sobre os parâmetros físico-químicos da água (pH, condutividade elétrica, cor verdadeira, turbidez e temperatura), investigando a relação desses efeitos com as condições operacionais de pirólise (temperatura e tempo de residência), a fim de compreender o comportamento preliminar do material e seu potencial de aplicação em tecnologias sustentáveis para tratamento de água.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Produção do biocarvão

A matéria-prima utilizada consistiu em cascas de batata (*Solanum tuberosum* L.) obtidas como resíduo do processamento de alimentos. As cascas foram lavadas em água corrente e cortadas em fragmentos de aproximadamente 2 cm (Daimary *et al.*, 2021). Posteriormente, o material foi submetido à secagem em estufa a 60 °C por 24 horas, triturado em processador de bancada e peneirado em malha de 0,425 mm para uniformização granulométrica (Singh *et al.*, 2022).

O processo de carbonização foi em forno mufla sob condições de pirólise convencional lenta com restrição de oxigênio, metodologia empregada na produção de biocarvões lignocelulósicos (Lehmann; Joseph, 2015; Chatterjee *et al*., 2020).

O delineamento experimental consistiu na variação de dois parâmetros de processo: a temperatura de pirólise (TP), oscilando entre 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C e 550 °C; e o tempo de permanência na mufla (TEP), variando entre 25, 30, 35 e 40 minutos. A rampa de aquecimento adotada foi de aproximadamente 20 °C/min. Após o término de cada ciclo, os materiais foram para o dessecador até atingirem a temperatura ambiente.

2.2 Ensaio de contato com água destilada

Para avaliar o comportamento preliminar dos materiais em meio aquoso, foram conduzidos ensaios de contato, conforme Carvalho (2018). Assim, alíquotas de 1,5 g de cada biocarvão produzido foram acondicionadas em Erlenmeyers contendo 12,5 mL de água destilada. O sistema foi submetido à agitação manual constante com o auxílio de um bastão de vidro por um período de aproximadamente 3 minutos, à temperatura ambiente (~27 °C). Após o tempo de contato, as amostras foram filtradas em papel filtro qualitativo, separando-se a fração sólida do sobrenadante para posterior realização das análises físico-químicas.

2.3 Determinação dos parâmetros analisados

As análises físico-químicas da solução líquida obtida após o ensaio de contato, foram processadas de acordo com os métodos padronizados descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, publicado pela *American Public Health Association* (APHA, 2012). Assim, a avaliação da cor verdadeira foi realizada por meio do Método Espectrofotométrico 2120, a turbidez foi determinada pelo Método Nefelométrico 2130, o potencial hidrogeniônico (pH) foi mensurado pelo Método Potenciométrico 4500-H^+, enquanto a condutividade elétrica foi determinada pelo Método 2510. A temperatura da amostra foi monitorada por meio de sensor térmico integrado ao pHmetro.

2.4 Tratamento estatístico dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva, utilizando medidas de tendência central e dispersão, incluindo média, mediana, desvio padrão, valores mínimos e máximos, com o objetivo de caracterizar o comportamento das variáveis analisadas.

Posteriormente, realizou-se a estatística inferencial por meio do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, considerando nível de confiança de 95%, para verificar a distribuição dos dados. Após a identificação de parâmetros com distribuição não normal, aplicou-se a correlação de Spearman para avaliar a associação entre as variáveis pH (potencial hidrogeniônico), turbidez (TB), temperatura da amostra (TA), temperatura de pirólise (TP), tempo de pirólise (TEP), cor verdadeira (CV) e condutividade elétrica (CE).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Parâmetros da água após contato com biocarvões

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos parâmetros analisados após o contato do biocarvão com o meio aquoso.

Tabela 1 - Estatística descritiva e teste de Shapiro-Wilk.

	CV (uC)	pH	TB (uT)	CE (µS/cm)	TA (ºC)
Média	226,00	8,30 - 11,00*	24,40	757,00	28,70
Mediana	222,00	10,60	24,50	716,00	28,70
Desvio padrão	93,40	0,72	10,30	161,00	0,32
Mínimo	78,00	8,30	7,00	484,00	27,60
Máximo	435,00	11,00	44,00	1003,00	29,20
Shapiro-Wilk (valor-p)	0,940	0,007	0,875	0,300	0,002

Nota:*****Intervalo dos dados

Fonte: Autores (2026).

Observou-se média de cor verdadeira (CV) de 226,00 uC, turbidez (TB) de 24,40 uT, condutividade elétrica (CE) de 757,00 µS/cm e temperatura da amostra (TA) de 28,70 ºC. O pH apresentou mediana de 10,60, sugerindo comportamento alcalino do sistema após interação com o biocarvão. Em relação à dispersão dos dados, CV e CE exibiram maior variabilidade, evidenciada pelos desvios mais expressivos. O teste de Shapiro-Wilk indicou distribuição normal para CV (valor-p = 0,940), TB (valor-p = 0,875) e CE (valor-p = 0,300), enquanto pH (valor-p = 0,007) e TA (valor-p = 0,002) apresentaram distribuição não compatível com a normalidade, justificando o uso de métodos não paramétricos nas análises subsequentes.

Desse modo, o comportamento alcalino observado em biocarvões pode ser atribuído à presença de cinzas minerais nos materiais, uma vez que o teor de cinzas pode fornecer íons alcalinos capazes de modificar parâmetros físico-químicos da solução (Li *et al*., 2022). Além disso, o biocarvão pode liberar matéria orgânica dissolvida proveniente do material carbonizado (Gao *et al*., 2020), o que pode contribuir para alterações nas características físico-químicas da água, como cor e turbidez.

Além disso, considerando nível de confiança de 95% ($p < 0,05$), conforme a Tabela 2, observou-se correlação significativa e positiva entre pH e CV (0,702), pH e TB (0,714), pH e CE (0,485), bem como entre CV e TB (0,981). Ressalta-se que as demais associações, incluindo aquelas relacionadas às condições de pirólise, não apresentaram correlação estatisticamente significativa.

Tabela 2 - Matriz de correlação de Spearman.

	pH	TA	TP	TEP	CV	TB	CE
pH	—						
TA	0,104	—					
TP	0,269	0,146	—				
TEP	-0,031	-0,279	0,000	—			
CV	**0,702*** **	0,012	0,166	-0,248	—		
TB	**0,714*** **	0,047	0,212	-0,268	**0,981*** **	—	
CE	**0,485***	0,284	-0,184	-0,023	0,241	0,282	—

Nota: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,01$

Fonte: Autores (2026).

O rendimento e as propriedades do biocarvão podem ser influenciados pelos métodos de produção e pelos parâmetros do processo, incluindo temperatura, tempo de residência, taxa de aquecimento, atmosfera gasosa e tipo de biomassa utilizada (Sharma *et al*., 2024). Contudo, considerando as condições avaliadas neste estudo, a ausência de correlação significativa entre as

condições de pirólise e os parâmetros físico-químicos analisados sugeriu que tais variáveis podem não ter influenciado de forma expressiva as características da solução.

Adicionalmente, do ponto de vista operacional, esse comportamento pode ser considerado favorável, por indicar possível estabilidade do material frente às variações das condições de produção, sugerindo que procedimentos de obtenção mais simplificados possam ser empregados sem comprometimento significativo dos parâmetros avaliados.

3.2 Potencial para aplicações em tratamento de água

Os sistemas hídricos enfrentam diversos desafios relacionados à poluição da água, como a presença de poluentes orgânicos, metais potencialmente tóxicos, nutrientes e contaminantes emergentes, enquanto os métodos convencionais de tratamento nem sempre são eficazes na remoção desses compostos, o que tem impulsionado o interesse por alternativas mais sustentáveis, nesse contexto, o conceito de economia circular destaca-se como estratégia para o uso eficiente de recursos, sendo a biomassa uma alternativa sustentável promissora para esses impasses (Olugbenga *et al*., 2024).

A transformação de resíduos agroindustriais em insumos para tecnologias de tratamento hídrico contribui diretamente para o ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis (UN, 2015), ao promover a valorização de resíduos orgânicos e reduzir os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de biomassas. Desse modo, entre as soluções alternativas para o aproveitamento de resíduos, o biocarvão produzido a partir de resíduos agrícolas se destaca por sua disponibilidade, acessibilidade, baixo custo, facilidade de preparação e sustentabilidade ambiental, além de apresentar potencial para aplicação no tratamento de diferentes matrizes aquosas (Awogbemi; Von Kallon, 2023). Ainda, a aplicação dessa tecnologia em regiões como as rurais do semiárido brasileiro está alinhada ao ODS 6 – Água Potável e Saneamento (UN, 2015), ao fortalecer a perspectiva de acesso sustentável à água limpa e segura.

Desse modo, apesar do aumento inicial dos parâmetros avaliados neste estudo, o comportamento estável associado às condições de pirólise reforça o caráter promissor do material, tendo em vista que, o uso do biocarvão proveniente de resíduos agrícolas representa uma alternativa inovadora e sustentável para o enfrentamento da poluição hídrica. Ao integrar os princípios da economia circular e contribuir simultaneamente para os ODS 12 e 6, a tecnologia reforça a importância de soluções que promovem avanços significativos na gestão dos recursos hídricos.

4. CONCLUSÃO

O estudo preliminar do biocarvão de casca de batata em meio aquoso indicou comportamento alcalino, além de aumento nos valores de cor verdadeira, turbidez e condutividade elétrica após o contato, com associações estatisticamente significativas entre pH, cor verdadeira e turbidez, sugerindo processos de dissolução iônica e liberação de compostos orgânicos. Por outro lado, a ausência de correlação com as condições de produção indicou baixa influência, dentro do intervalo avaliado, de temperatura e tempo de residência sobre o comportamento do material, o que reforça a estabilidade do biocarvão e sua potencial aplicação em sistemas de tratamento de água, com reduzida dependência de ajustes nas condições de síntese.

Dessa forma, os resultados preliminares indicam o potencial de aplicação do biocarvão em sistemas de tratamento de água de baixo custo, especialmente em contextos de vulnerabilidade hídrica. Como perspectiva de estudos futuros, recomenda-se a caracterização microestrutural do material e a avaliação de seu desempenho em sistemas de adsorção e filtração, de modo a aprofundar a compreensão de seus mecanismos de atuação e otimizar sua aplicação em soluções de saneamento descentralizado.

AGRADECIMENTOS - À CAPES e COPES/UFS, pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de pesquisa.

REFERÊNCIAS

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington, DC, 1496 p.

AWOGBEMI, O.; VON KALLON, D. V. (2023). *"Progress in agricultural waste derived biochar as adsorbents for wastewater treatment"*. Applied Surface Science Advances 18, p. 100518.

CARVALHO, R. S. de. (2018). *Produção e caracterização de biocarvão de bagaço de laranja para utilização no pós-tratamento de água residuária*. Tese apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

CHATTERJEE, R. *et al*. (2020). *"Effect of Pyrolysis Temperature on PhysicoChemical Properties and Acoustic-Based Amination of Biochar for Efficient CO_2 Adsorption"*. Frontiers in Energy Research 8, p. 85.

CUNHA, L. H. (2020). *"Desigualdades nos padrões de acesso à água e limites da cidadania hídrica em comunidades rurais do semiárido"*. Desenvolvimento e meio ambiente 55, pp. 99-116.

DAIMARY, N. *et al*. (2021). *"Potato peels as a sustainable source for biochar, bio-oil and a green heterogeneous catalyst for biodiesel production"*. Journal of Environmental Chemical Engineering 9(2), 104756.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2023). *The State of Food and Agriculture 2023: Revealing the true cost of food to transform agrifood systems*. Rome, 168 p.

GAO, Y. *et al*. (2020). *"Dissolved organic matter release and environmental implications of biochar application: A review"*. Journal of Environmental Management 272, 111031.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. (2024). *Agenda 2030: ODS 6 – Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todas e todos*. Brasília, DF, 38 p.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. 2. ed. London: Routledge, 970 p.

LI, H. *et al*. (2022). *"Characteristics and environmental effects of dissolved organic matter released from biochar: A review"*. Journal of Soils and Sediments 22, pp. 1841-1857.

OLIVEIRA, A. R.; BARBOSA, T. A.; MENDONÇA, L. C. (2023). *"Adsorção de poluentes em águas residuárias utilizando biocarvão: revisão sistemática"*. Research, Society and Development 12(4), e23712441228.

OLUGBENGA, O. S. *et al*. (2024). *"Biomass-derived biochar in wastewater treatment-a circular economy approach"*. Waste Management Bulletin 1(4), pp. 1-14.

SHARMA, T.; HAKEEM, I. G.; GUPTA, A. B.; JOSHI, J.; SHAH, K.; VUPPALADIYAM, A. K.; SHARMA, A. (2024). *"Parametric influence of process conditions on thermochemical techniques for biochar production: A state-of-the-art review"*. Journal of the Energy Institute 113, p. 101559.

SILVA, M. S. L. *et al*. (2018). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6: Água e saneamento: contribuições da Embrapa*. Brasília, DF: Embrapa, 44 p.

SINGH, M. *et al*. (2022). *"Characterization of organophosphate pesticide sorption of potato peel biochar as low cost adsorbent for chlorpyrifos removal"*. Chemosphere 297, p. 134112.

UNITED NATIONS. (2015). *Resolution 70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: UN. Disponível em: https://bit.ly/2U6FeR0. Acesso em: 20 de maio de 2026.