

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO, A PARTIR DAS PODAS DO *ZIZIPHUS JOAZEIRO* E AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES RESIDENCIAIS DE CRATEÚS

Alessandra Oliveira Timbó Alves¹; Jenilson Rodrigues Pereira²; Luisa Gardênia Alves Tomé Farias³ & Janaina Lopes Leitinho⁴

Abstract: This study aimed to analyze the effectiveness of activated carbon derived from *Ziziphus joazeiro* prunings in the treatment of domestic effluents in the city of Crateús, in the state of Ceará. The study was carried out through the production of activated carbon, using the Central Composite Rotational Design (CCRD) in conjunction with the Response Surface Methodology (RSM). Then, biofilters composed of stone materials, coconut fiber and synthesized activated carbon were assembled. The physicochemical analyses performed on the effluent showed that the biofilter with *Ziziphus joazeiro* carbon was effective in reducing several parameters. Biochemical oxygen demand (BOD) decreased by 87.7%, sulfates decreased by 35% and alkalinity reduced by 27%, evidencing its effectiveness in improving water quality. However, an increase in hardness and chloride levels was noted after treatment. The results highlight the viability of using alternative, economical and abundant materials in the semiarid region, as a sustainable approach to the reuse of gray water, directly contributing to the reduction of water scarcity in the Crateús hinterland.

Resumo: Este estudo teve como objetivo analisar a eficácia do carvão ativado derivado das podas do *Ziziphus Joazeiro* no tratamento de efluentes residenciais na cidade de Crateús, no Estado do Ceará. O estudo foi realizado por meio da produção de carvão ativado, utilizando o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) em conjunto com a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). Em seguida, foram montados biofiltros compostos por materiais pétreos, fibra de coco e o carvão ativado sintetizado. As análises físico-químicas realizadas no efluente mostraram que o biofiltro com carvão de *Ziziphus joazeiro* foi eficaz na redução de vários parâmetros. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) caiu 87,7%, os sulfatos diminuíram 35% e a alcalinidade reduziu 27%, evidenciando sua eficácia na melhoria da qualidade da água. No entanto, notou-se um aumento nos níveis de dureza e cloretos após o tratamento. Os resultados ressaltam a viabilidade do uso de materiais alternativos, econômicos e abundantes na região semiárida, como uma abordagem sustentável para o reúso de águas cinzas, contribuindo diretamente para a redução da escassez de água no sertão de Crateús.

Palavras-Chave – Carvão ativado, Tratamento de efluente, DCCR

¹

²

³1) Alessandra Oliveira Timbó Alves - Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús, Av. Profª Machadinho Lima, /N, Crateús–CE. Tel: (88) 3691-9700. Fax: não disponível. E-mail: alessandratimbo@alu.ufc.br

2) Jenilson Rodrigues - Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús, Av. Profª Machadinho Lima, /N, Crateús–CE. Tel: (88) 3691-9700. Fax: não disponível. E-mail: jenilson.eas@gmail.com

3) Luisa Gardênia Alves Tomé Farias - Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús, Av. Profª Machadinho Lima, /N, Crateús–CE. Tel: (88) 3691-9700. Fax: não disponível. E-mail: luisa@crateus.ufc.br

4) Janaina Lopes Leitinho - Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús, Av. Profª Machadinho Lima, /N, Crateús–CE. Tel: (88) 3691-9700. Fax: não disponível. E-mail: janaina@crateus.ufc.br

1. INTRODUÇÃO

A deterioração progressiva e a subsequente escassez dos recursos hídricos transformaram-se em uma preocupação significativa, constituindo-se como um grave problema de saúde pública (MORAES; JORDÃO, 2002). O Brasil apesar de possuir uma vasta disponibilidade de recursos hídricos, o uso inadequado, o desperdício e a contaminação desses recursos afetam tanto sua qualidade quanto a saúde da população. Apesar do progresso na ampliação da rede de fornecimento de água tratada, uma parte considerável da população, principalmente em regiões periféricas e com maior vulnerabilidade social, ainda não tem acesso regular à água potável.

No cenário nacional, observa-se que essa questão persiste há décadas, mesmo com os esforços constantes dos governos para resolvê-la. No contexto nordestino, o estado do Ceará se destaca por possuir a maior extensão territorial inserida no semiárido, com aproximadamente 92% de sua área localizada no polígono das secas, conforme estabelece a Lei nº 1.348, de 10 de fevereiro de 1951. Essa condição torna a escassez hídrica durante os períodos de estiagem uma realidade constante no estado e uma das principais problemáticas recorrentes (BRASIL, 2017).

Somando a isso, a água é um dos recursos naturais mais afetados pelos processos de degradação ambiental, que são intensificados principalmente pelo aumento da população (VON SPERLING, 2025). Atualmente, com os longos períodos de estiagem, o governo utiliza várias estratégias para assegurar o fornecimento de água para consumo humano, além de atender às necessidades produtivas, principalmente na agricultura. A perfuração de poços profundos e a distribuição de água por caminhões-pipa são algumas das ações implementadas. O acesso e distribuição adequada de água é uma questão histórica que continua a existir nos dias de hoje.

No que se refere ao tratamento e reaproveitamento de efluentes, a distinção entre as águas cinzas possibilitam a aplicação de tratamentos específicos, o que facilita sua reutilização para usos não potáveis (GONÇALVES, et al., 2006). As águas residuárias geradas pelas atividades domésticas possuem características diferentes. Há dois grupos principais de água: a negra e a cinza. A água negra proveniente do vaso sanitário, exibe a maior concentração de microorganismos e matéria orgânica. (LUDWIN, 2006).

A água de reuso é vista como um recurso hídrico alternativo e adicional. A utilização de água cinza se revela um método eficiente para diminuir a necessidade de água potável quando a tecnologia opera de maneira eficiente (BERTRAND, 2008). Além disso, o uso do carvão ativado tem se consolidado em diversos processos de tratamento de efluentes, especialmente na remoção de matéria orgânica e de compostos responsáveis pela alteração de cor.

Com isso, intensificam-se os estudos que buscam precursores renováveis para a fabricação de carvão ativado (CA) e o uso de plantas com características microbiológicas que ajudem no controle microbiano (MENDES, 2010). Nesse cenário, o *Ziziphus Joazeiro*, espécie nativa do Nordeste conhecida por suas propriedades microbiológicas, se apresenta como uma biomassa promissora para a produção de CA.

Considerando esse cenário, é fundamental fomentar a sustentabilidade no ciclo urbano da água, adotando práticas de conservação, como o uso de fontes alternativas, como as águas residuárias destinadas ao reúso. Este estudo propõe avaliar a viabilidade desse reaproveitamento por meio de biofiltros biocompostos, que combinam materiais pétreos e vegetais. Além disso, busca-se propor alternativas que ajudem a reduzir o consumo de água potável e a geração de efluentes residenciais em Crateús.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi analisar a eficácia do carvão ativado sintetizado a partir das podas do *Ziziphus Joazeiro* no tratamento de efluentes residenciais em Crateús, Ceará. Foram realizadas análises físico-químicas com o intuito de melhorar a qualidade do efluente e avaliar seu potencial para reúso em atividades não potáveis.

3. METODOLOGIA

Neste estudo, três etapas principais foram realizadas: produção e caracterização do carvão ativado, fabricação dos biofiltros e execução de análises físico-químicas do efluente. O efluente analisado teve origem na pia da cozinha do Restaurante Universitário da UFC – Campus Crateús. Ele foi tratado em três tipos diferentes de biofiltros: (1) padrão – composto por brita 0, areia grossa e areia fina; (2) com fibra de coco – brita 0, areia grossa, areia fina e fibra de coco; (3) com carvão ativado – brita 0, areia grossa, areia fina e carvão ativado. A otimização da síntese do carvão ativado foi realizada utilizando o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) em conjunto com a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). O objetivo era estabelecer as condições ideais de temperatura e a proporção entre ativante e precursor, a fim de diminuir os custos de produção. As análises físico-químicas foram realizadas para avaliar a eficiência dos biofiltros, levando em conta os parâmetros de dureza, sulfatos, cloretos, DBO e alcalinidade.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Preparo da biomassa

As biomassas utilizadas na pesquisa foram as podas do *Ziziphus Joazeiro* e fibra de coco. As podas do *Z. Joazeiro* foram coletadas na zona rural do município de Crateús, no Estado do Ceará. A fibra de coco foi processada manualmente, retiradas de um coco verde, limpas e secas. As podas do *Z. Joazeiro* foram limpas (retirada a folhagem), fracionada, triturada em um liquidificador industrial e separadas por granulometria. O material seco foi separado granulometricamente (2,0 mm; 1,20 mm e 600 µm). Após a separação por granulometria o material ficou armazenado na estufa durante 24h a 30°C, respectivamente.

Além das biomassas, empregaram-se materiais pétreos, os quais foram classificados de acordo com sua granulometria, conforme a NBR 11.799/2016. A areia foi dividida em duas categorias: areia grossa (1,20 a 4,80 mm) e areia fina (300 µm a 1,20 mm). A brita zero foi o material pétreo empregado, com uma granulometria padrão variando de 4,8 a 9,5 mm. Após a seleção granulométrica, todos os materiais foram lavados em água corrente, e submetidos a um processo de secagem em estufa a 100 °C para eliminar umidade.

4.2 Aplicação do DCCR e MSR

Todo o processo de planejamento experimental, otimização e definição dos parâmetros operacionais foi realizado com base no procedimento metodológico adotado por Pereira (2021), utilizando o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) e a modelagem dos dados método Taguchi, integrado à Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) utilizada para a copilação de dados. O objetivo foi otimizar o uso dos dados com o mínimo de experimentos, adotando a proporção correta entre a massa de ativante e a de precursor, levando em conta a razão ativante/precursor.

Foram realizados 12 experimentos, empregando como variáveis dependentes os seguintes parâmetros de resposta para a otimização: a massa do carvão ativado em rendimento e o teor de cinzas. Os resultados possibilitaram a obtenção de teores de cinzas abaixo de 7,00% e rendimentos variando entre 10,92% e 25,19%. As faixas operacionais estabelecidas para a otimização são: relação ativante/precursor entre 1,4 e 1,8 (g/g) e temperatura de pirólise variando de 300°C a 600°C.

4.3 Ativação do carvão ativado

Após serem limpas e classificadas quanto à granulometria, as podas do *Ziziphus joazeiro* foram tratadas quimicamente com uma solução de cloreto de zinco (ZnCl_2). Para isso, utilizou-se uma relação de massa de 1:1,4 entre o precursor e o agente ativante. Nesse caso, para cada 10 g de precursor, empregou-se 14 g de ZnCl_2 . O material empregado foi o retido na peneira de 600 μm , somando 1160,7 g. Para assegurar a eliminação da umidade residual, o material foi armazenado em estufa a 30°C durante 24 horas.

Depois do processo de trituração e da nova classificação granulométrica, realizada com peneiras e agitador mecânico, o material foi pesando novamente, mantendo a massa inalterada de 1160,7 g. Para o processo de carbonização, o material foi distribuído em cadinhos de 30 mL e inserido em forno tipo mufla. As condições operacionais adotadas foram: taxa de aquecimento de 10°C/min, sob atmosfera inerte de nitrogênio (N_2), com vazão de 150 mL/min.

4.4 Fabricação dos biofiltros

Para a montagem dos biofiltros de bancada foi utilizado pequenos frascos de PVC de 3,5 cm de diâmetro e 11 cm de altura. Esses tubos foram preenchidos com, areia e material pétreo, conforme a granulometria descrita. A composição de cada um dos filtros utilizados são apresentadas a seguir:

- Biofiltro Padrão (FP): brita 0, areia grossa e areia fina;
- Biofiltro Fibra de Coco (FC): brita 0, areia grossa e areia fina e fibra de coco;
- Biofiltro *Ziziphus Joazeiro* (FZJ): brita 0, areia grossa e areia fina e CA *Z. Joazeiro*

O volume ocupado por cada camada de brita zero, areia grossa, areia fina e o biocomposto, foram de aproximadamente 20,45 cm³, respectivamente. Para a montagem dos biofiltros não foram aplicadas nenhuma força de compressão, apenas acomodação dos materiais. A Figura 1 apresenta a divisão das camadas dos filtros e suas respectivas alturas.

Figura 1: Esquema dos biofiltros: padrão, com fibra de coco e com carvão ativado de *Ziziphus Joazeiro*.



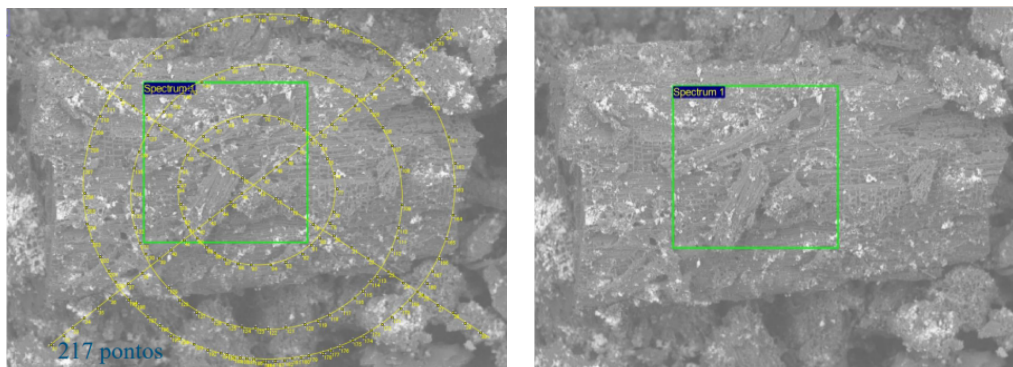
Visando avaliar a eficiência dos biofiltros, empregou-se efluente coletado na pia da cozinha do Restaurante Universitário (RU) da Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús. Para evitar qualquer contaminação externa, a amostra foi armazenada em uma bombona de 20 litros que havia sido previamente higienizada e seca. Após a coleta, o recipiente foi adequadamente lacrado e, posteriormente, enviado para a execução das análises físico-químicas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da morfologia do carvão ativado obtido a partir de *Ziziphus Joazeiro*, após os processos de pirólise e ativação, revela uma alteração considerável na estrutura do precursor, demonstrada pela criação de uma superfície porosa e irregular, característica benéfica para os processos de adsorção.

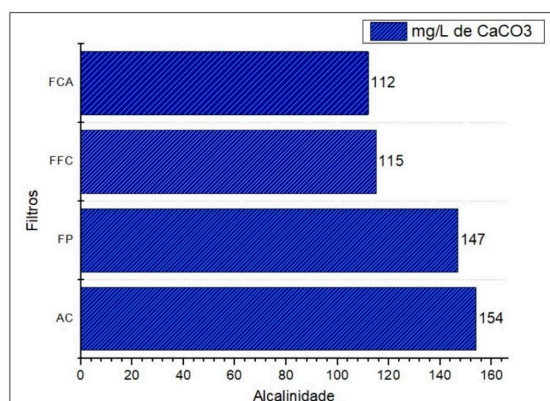
O material exibiu um tamanho médio de grão de cerca de 3,46 µm e um diâmetro médio dos poros de 21 nm, o que indica a predominância de mesoporos. De acordo com a classificação da International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), os materiais são categorizados como Microporosos se os poros tiverem diâmetro inferior a 2 nm, Mesoporosos se o diâmetro estiver entre 2 e 50 nm, e Macroporosos se o diâmetro dos poros for superior a 50 nm (Naik e Ghosh, 2009).

Figura 2 – Análise microscopia eletrônica de varredura (MEV) do precursor CA Z.Joazeiro.



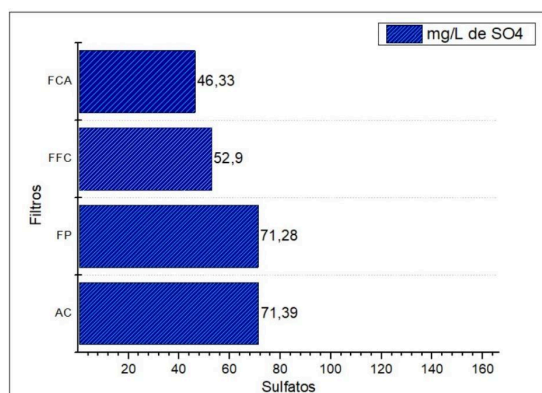
Para as análises físico-químicas, os parâmetros de alcalinidade, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sulfatos mostraram resultados positivos com o uso do carvão ativado de *Ziziphus Joazeiro*, de acordo com os resultados obtidos. Houve uma diminuição de cerca de 27% na alcalinidade, reduzindo-se de 154 mg/L CaCO_3 na amostra inicial para 112 mg/L CaCO_3 após a filtração. A diminuição da alcalinidade durante o processo sugere a eliminação de compostos alcalinos presentes no efluente, como bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-), que contribuem para a capacidade de tamponamento do pH. O gráfico 01 apresenta os resultados das análises realizadas em todas as amostras após a passagem por cada um dos filtros.

Figura 3 – Variação dos valores de alcalinidade (mg/L CaCO_3) nas amostras de efluente antes e após a filtração nos diferentes modelos de biofiltros.



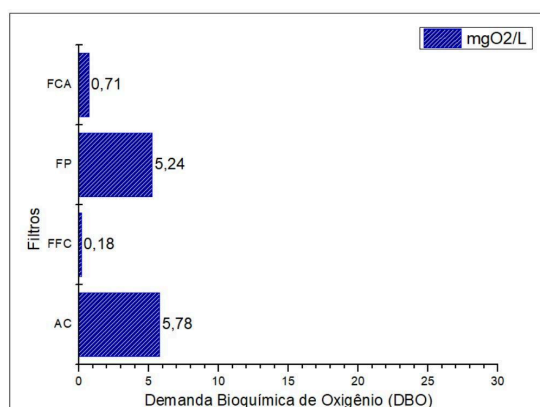
Os resultados das análises de sulfatos estão ilustrados no Gráfico 2, mostrando uma diminuição considerável de cerca de 35% em comparação com a amostra inicial. Os valores do efluente bruto caem de 71,39 mg/L SO_4 para 46,33 mg/L SO_4 após a filtração. Esse resultado evidencia a eficácia do sistema de biofiltração na eliminação de compostos sulfurados, o que contribui diretamente para a melhoria da qualidade do efluente. O gráfico 02 exibe os resultados das análises conduzidas em todas as amostras após a filtragem por cada um dos filtros.

Figura 4 – Variação dos valores de sulfatos (mg/L SO_4) nas amostras de efluente antes e após a filtração nos diferentes modelos de biofiltros.



No que se refere à análise da DBO, observou-se uma diminuição de 87,7% em comparação com a amostra inicial, o que demonstra uma eficácia significativa no processo de filtração. A amostra bruta exibiu uma DBO de 5,78 mgO₂/L; no entanto, após a passagem pelos filtros, os valores foram consideravelmente reduzidos. O filtro de fibra de coco demonstrou o melhor desempenho, reduzindo a DBO para 0,18 mgO₂/L. O filtro de carvão ativado ficou em segundo lugar, com uma redução de 0,71 mgO₂/L. Por outro lado, o filtro padrão apresentou uma redução mais modesta, alcançando 5,24 mgO₂/L, evidenciando uma menor eficiência na remoção de matéria orgânica em comparação com os filtros que utilizam materiais vegetais ou adsorventes. O gráfico 03 expressa os resultados das amostras após a filtragem por cada um dos filtros.

Figura 5 – Variação dos valores de DBO (mg/LO₂/L) nas amostras de efluente antes e após a filtração nos diferentes modelos de biofiltros.



Os parâmetros de dureza e cloretos mostraram resultados que não correspondem à remoção esperada pelos filtros, indicando um aumento em seus valores após o processo de filtração com carvão ativado de *Ziziphus Joazeiro*. A dureza da amostra de água bruta foi de 112,6 mg/L, elevando-se para 151,2 mg/L após a filtração, o que equivale a um aumento de cerca de 34,3%. De maneira semelhante, a concentração de cloretos aumentou de 81,21 mg/L na amostra bruta para 96,84 mg/L no efluente filtrado, representando um crescimento aproximado de 19,2%.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados e de acordo com as condições experimentais pode-se concluir que a eficácia do carvão ativado obtido a partir das podas de *Ziziphus joazeiro*, além do uso de materiais

vegetais, como a fibra de coco, no tratamento de efluentes domésticos. Houve reduções significativas em parâmetros essenciais, como a DBO, que caiu 87,7%, a alcalinidade, que diminuiu 27%, e os sulfatos, que tiveram uma queda de 35%.

Esses resultados evidenciam a eficácia dos biofiltros na remoção de matéria orgânica e de certos compostos inorgânicos, destacando o potencial de soluções sustentáveis e de baixo custo como uma alternativa eficaz para combater a escassez de água nos sertões de Crateús. Isso contribui para o reúso de água em atividades não potáveis e reduz a demanda por água potável, especialmente em áreas semiáridas, onde a oferta de água é limitada.

REFERÊNCIAS

- BERTRAND, N. M. (2008). *Impacts of scaling up water recycling and rainwater harvesting technologies on hydraulic and hydrological flows*. PhD Thesis. Cranfield University.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. (2017). *Nova delimitação do semiárido brasileiro*. Brasília-DF.
- CONAMA, Conselho Nacional Do Meio Ambiente (2005) Resolução nº 357 de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF.
- GONÇALVES, R. F.; ALVES, W. C.; ZANELLA, L. (2006). Conservação da água no meio urbano. Cap. 2. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). *Uso racional da água em edificações*. Rio de Janeiro: ABES.
- MENDES, F. O. *Avaliação das ações moluscicida e antimicrobiana de extratos hidroalcóolicos de Ziziphus joazeiro mart. Expostos a altas taxas de doses de radiação Gama de 60Co*. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2010
- MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. (2002). Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Revista de Saúde Pública*, 36(3), pp. 370-374.
- NAIK, B.; GHOSH, N. P. (2009). Review on Chemical Methodologies for Preparation of Mesoporous Silica and Alumina Based Materials. *Recent Patents on Nanotechnology*, 3, pp. 213-224.
- PEREIRA, J. R. (2021). *Otimização*. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús, Crateús.
- VON SPERLING, M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias). Belo Horizonte: UFMG, 452 p.
- LIMA, J. L. E. *Avaliação do potencial de uso de resíduos de café como filtros para tratamento de água residuária da cafeicultura*. 2006. 96p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Sustentabilidade) – Centro Universitario da Caratinga, Caratinga, 2006.
- LUDWIN, A. (2006) *Creating an oasis with greywater*. 5 ed. Oasis Design, Santa Barbara, 144p.
- Maimon, A., Tal, A., Friedler, E., Gross, A. (2010) Safe on-Site Reuse of Greywater for Irrigation - A Critical Review of