UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA FUNCIONALIZADAS IMPREGNADAS AO CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DO CAROÇO DO AÇAÍ *Euterpe precatoria*

MAURÍCIO DA SILVA SOUZA

RIO BRANCO, AC
09/2024

MAURÍCIO DA SILVA SOUZA

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA FUNCIONALIZADAS IMPREGNADAS AO CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DO CAROÇO DO AÇAÍ *Euterpe precatoria*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências e Inovação Tecnológica**.

Orientador: Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez

RIO BRANCO, AC
09/2024

UNIVERSIDADE FEDERALDO ACRE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA FUNCIONALIZADAS IMPREGNADAS AO CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DO CAROÇO DO AÇAÍ

Euterpe precatória

MAURÍCIO DA SILVA SOUZA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 24/09/2024

gov.br Documento assinado digitalmente
ANSELMO FORTUNATO RUIZ RODRIGUEZ
Data: 16/12/2024 17:23:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez

Universidade Federal do Acre-UFAC

gov.br Documento assinado digitalmente
CAMILO LELIS DE GOUVEIA
Data: 16/12/2024 16:30:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Camilo Lélis Gouveia

Universidade Federal do Acre-UFAC

gov.br Documento assinado digitalmente
YURI SOTERO BOMFIM FRAGA
Data: 16/12/2024 16:18:11-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Yuri Sotero Bomfim Fraga

Universidade Federal do Acre-UFAC

RESUMO

O presente trabalho explora o tratamento de água para consumo utilizando a semente do açaí como matéria-prima sustentável, oferecendo uma nova forma de aplicar esse material. A pesquisa foi dividida em três fases. A primeira fase envolveu uma revisão da literatura para identificar estudos relevantes. Na segunda fase, foi produzido carvão ativado a partir da semente do açaí e comparado com materiais semelhantes disponíveis no mercado. Foram avaliadas sua eficiência na filtragem e sua capacidade de melhorar as propriedades químicas da água, como pH, condutividade e dureza. Na terceira fase, o carvão ativado foi combinado com nanopartículas de prata, que foram produzidas a partir do extrato das folhas do açaí juntamente com nitrato de prata, utilizando o método de refluxo. Os resultados mostraram que tanto o carvão ativado quanto a combinação com as nanopartículas de prata foram eficazes, confirmando a eficiência do método de produção e do tratamento. A semente do açaí como carvão ativado demonstrou ser uma solução importante para o tratamento de água, combinando nanotecnologia com práticas sustentáveis.

Palavras-chave: Carvão Ativado. Filtragem. Sustentabilidade. Nanotecnologia. Prata.

ABSTRACT

This study explores water treatment for consumption using açaí seeds as a sustainable raw material, offering a new way to utilize this material. The research was divided into three phases. The first phase involved a literature review to identify relevant studies. In the second phase, activated carbon was produced from açaí seeds and compared with similar materials available on the market. Its efficiency in filtration and its ability to improve the chemical properties of water, such as pH, conductivity, and hardness, were evaluated. In the third phase, the activated carbon was combined with silver nanoparticles, which were produced from açaí leaf extract and silver nitrate, using the reflux method. The results showed that both the activated carbon and the combination with silver nanoparticles were effective, confirming the efficiency of the production method and treatment. Açaí seeds as activated carbon proved to be an important solution for water treatment, combining nanotechnology with sustainable practices.

Keywords: Activated Carbon. Filtration. Sustainability. Silver.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de etapas desenvolvidas para a produção de carvão ativado em laboratório e em propriedade rural. 24

Figura 2. Microscopia eletrônica de varredura aplicada para o filtro 1 – CA de caroço de açaí a 350ºC, amostra CAL-01. 27

Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura aplicada para o filtro 2 – CA de caroço de açaí em campo, amostra CAC-02. 27

Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura aplicada para o filtro 3 – CA de caroço de açaí em laboratório a 400 ºC, amostra CAL-03 27

Figura 5. Folhas de açaí em estufa para processo de secagem. 37

Figura 6. Execução de refluxo para funcionalização do carvão ativado. 38

Figura 7. Aspecto da amostra CF 38

Figura 8. Aspecto pós-lavagem das amostras funcionalizadas. 39

Figura 9. Micrografias de amostras com escala indicada; (a) amostra CA; (b) amostra CN; (c) amostra CF; (d) amostra CF+Ag. 40

Figura 10. Espectros de análise EDS das amostras: (a) CA e (b) CN 41

Figura 11. Espectros de análise EDS das amostras: (a) CF e (b) CF+Ag. 42

Figura 12. Curva TGA das amostras indicadas CFAG, CA, CF, CN. 43

Figura 13. Curva DTG das amostras indicadas, CA, CF, CF AG, CN. 44

Figura 14. Espectros de análise DRX das amostras indicadas CN, CF, CF AG, CA. 45

Figura 15. Espectro FTIR, das amostras. 45

Figura 16. Análises de MEV das amostras (a) CA e (b) CN. 46

Figura 17. Análises de MEV das amostras (a) CF e (b) CF+Ag 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Busca de descritores 17

Tabela 2: Áreas de concentração de estudos encontradas 18

Tabela 3.Camadas do filtro de areia e carvão ativado de caroço de açaí com a especificação da espessura, faixa de granulometria e peso. 25

Tabela 4. Amostras e caracterização do carvão ativado de caroços de açaí, local e temperatura de análise. 25

Tabela 5. Densidade das amostras de carvão ativado de caroços de açaí. 26

Tabela 6. Análise físico-química e microbiológica da água sem filtração e com filtração (uso de filtros feitos a partir de carvão ativado de caroço de açaí). 28

Tabela 7. Composição do custo de fabricação do filtro de CA com resíduo de caroço de açaí 29

Tabela 8. Distribuição das proporções de cada elemento por amostra. 42

Tabela 9. Propriedades são relacionadas às características da área superficial das amostras indicadas. 47

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Brasileira

EDS - Espectroscopia por Energia Dispersiva

TGA - Análise Termogravimétrica

DRX - Difração de Raio-X

FTIR - Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

BET - Ensaio de Área Superficial

NaOH - Hidróxido de Sódio

$AgNO_3$ - Nitrato de Prata

UFAC - Universidade Federal do Acre

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL **10**

REVISÃO DA LITERATURA **12**

1 NANOTECNOLOGIA APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUA 12

2 CARVÃO ATIVADO VEGETAL 12

3. POTENCIALIDADES DO AÇAÍ 13

CAPITULO I **15**

NANOTECNOLOGIA COM CARVÃO ATIVADO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA **15**

INTRODUÇÃO 15

METODOLOGIA 16

RESULTADOS E DISCUSSÃO 17

CONCLUSÕES 20

CAPITULO II **21**

PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE FILTRO DE BAIXO CUSTO COM CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO RESÍDUO DE CAROÇO DE AÇAÍ NATIVO **21**

INTRODUÇÃO 21

MATERIAL E MÉTODOS 23

RESULTADOS E DISCUSSÃO 26

CONCLUSÃO 32

CAPITULO III **34**

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURAL DE CARVÃO ATIVADO OBTIDO DO RESÍDUO DO CAROÇO DE AÇAÍ FUNCIONALIZADO COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA **34**

INTRODUÇÃO 34

MATERIAIS E MÉTODOS 36

RESULTADOS E DISCUSSÕES 40

CONCLUSÕES 51

CONCLUSÕES GERAIS **52**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **53**

INTRODUÇÃO GERAL

O uso eficiente da água é uma das maiores preocupações enfrentadas pela humanidade na atualidade. O consumo de água deve ser sempre acompanhado não apenas pela disponibilidade hídrica, mas especialmente pela qualidade e pureza da água que consumimos. Neste aspecto, o carvão ativado desponta como uma alternativa promissora para o tratamento de água para consumo humano, apresentando propriedades adsortivas que melhoram sua capacidade de filtrar impurezas (Domingues *et al*., 2021). A aplicação tecnológica desse material, a partir de resíduos vegetais como os restos do caroço do açaí, se mostra uma solução inovadora que integra a sustentabilidade e tecnologia, reaproveitando um material descartado e transformando-o em um produto de valor agregado (Westphalen; Corção; Benetti, 2016).

Nos últimos anos, o fruto do açaí (*Euterpe precatoria*) ganhou notoriedade, não apenas por suas características nutricionais, mas também pela versatilidade de sua utilização (Silveira *et al.*, 2023). Este fruto, que é um alimento básico na região amazônica, tem sua casca e caroço frequentemente descartados que podem ser convertidos em carvão ativado. O carvão ativado é um carbono poroso com grande capacidade de absorção química, sendo eficaz na remoção de contaminantes da água e de polução ambiental abrindo novos horizontes para o reaproveitamento desse resíduo (Menezes, 2008 *et al*).

Um dos avanços significativos nessa área é a incorporação da nanotecnologia, uma técnica dedicada ao estudo e controle das propriedades da matéria na escala manométrica (Silva *et al*., 2006),

Na produção de carvão ativado. A utilização de nanopartículas, especialmente as de prata, demonstrou um aumento na eficácia do carvão ativado em diversos contextos de tratamento. Estudos revelam que essas nanopartículas não apenas ampliam as propriedades absortivas do carvão, mas também introduzem características antimicrobianas que potencializam sua funcionalidade (McGillicuddy *et al*., 2018; Abdul-Reda Hussein *et al*., 2024).

A combinação dessas nanotecnologias oferece uma solução robusta para o tratamento de águas residuais e potáveis, especialmente em regiões remotas e de difícil acesso, como as comunidades ribeirinhas. A produção de carvão ativado a partir do caroço de açaí montra uma alternativa correta na destinação de resíduos vegetais. Tais inovações

não apenas contribuem para a redução de impactos ambientais, como também promovem a geração de novos empregos e renda para as comunidades locais. A implementação de tecnologias que utilizam resíduo de açaí representa um forte indicativo de sustentabilidade. Preparar e caracterizar o carvão ativado a partir dos resíduos do açaí, constatou-se um potente agente de purificação, podendo ser usado no tratamento de resíduos. (Sousa, 2019; Cedrim, 2018).

Os resultados indicam que a produção de carvão ativado a partir do caroço de açaí não somente melhora a qualidade da água, mas também apresenta soluções viáveis e de baixo custo para o tratamento de água em comunidades vulneráveis. Na prática, a utilização desse carvão ativado contribui para a melhoria dos parâmetros de qualidade da água, como pH, alcalinidade e condutividade, enquanto reduz significativamente a presença de contaminantes microbiológicos.

A convergência entre a utilização de resíduos vegetais e inovações tecnológicas representa uma oportunidade inestimável para enfrentar os desafios da gestão da água. O carvão ativado produzido a partir do caroço de açaí não apenas atende a demandas ambientais urgentes, mas também promove um modelo de desenvolvimento sustentável que beneficia as comunidades da região amazônica. Como resultado, a pesquisa aponta para um futuro onde os recursos naturais são utilizados de maneira inteligente, respeitando a biodiversidade e promovendo a saúde pública, assegurando água limpa e segura para todos.

As potencialidades do carvão ativado, especialmente a partir de resíduos subutilizados como os do caroço de açaí, permanecem uma área fértil para pesquisa e desenvolvimento. A implementação dessas tecnologias não só traz soluções para o tratamento de água, mas também propõe um caminho inovador para a sustentabilidade, aliando a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico.

Este novo paradigma se apresenta como um importante passo em direção à saúde pública, ao mesmo tempo que eleva a conscientização sobre a importância e o valor dos recursos naturais disponíveis. Dessa forma, é essencial continuar promovendo pesquisas e investimentos que possibilitem a expansão dessas práticas, assegurando um equilíbrio ecológico entre crescimento econômico e responsabilidade ambiental para as futuras gerações.

REVISÃO DA LITERATURA

1 NANOTECNOLOGIA APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUA

A nanotecnologia é a ciência que manipula materiais em escala nanométrica, ou seja, em dimensões menores que 10^{-9}m. Essa tecnologia permite a criação de materiais com propriedades singular, que podem ser aplicadas em diversas áreas, incluindo o tratamento de água (Santos *et al*., 2019).

São várias as vantagens do uso da nanotecnologia para o tratamento de água. Entre elas, destacam-se a alta eficiência na remoção de contaminantes. Além disso, os nanomateriais podem ser projetados para ter propriedades específicas, como maior superfície de adsorção e reatividade química (Rathod *et al*., 2024).

A necessidade de usar nanotecnologia para tratar água surge da crescente demanda por água potável e da presença de poluentes que os métodos tradicionais não conseguem remover eficazmente. A nanotecnologia oferece soluções inovadoras para tais desafios, adequando métodos mais eficazes e sustentáveis (Santos *et al*., 2019).

Alguns exemplos de tratamentos de água com nanotecnologia incluem o uso de nanopartículas de prata para desinfecção, nanocompósitos para remoção de metais pesados e nanotubos de carbono para filtração mais eficiente (Rathod *et al*., 2024).

2 CARVÃO ATIVADO VEGETAL

O carvão ativado é um material poroso com alta capacidade de adsorção, utilizado para remover impurezas, seja de líquidos ou gases. Ele é produzido a partir da queima de materiais ricos em carbono, como madeira, cascas de coco e resíduos agrícolas, em altas temperaturas. O carvão ativado vegetal é especificamente derivado de biomassa vegetal, sendo uma alternativa sustentável e eficiente para diversas aplicações, incluindo o tratamento de água (Sena, 2020).

A necessidade de usar carvão ativado vegetal para melhorar a qualidade da água está relacionada à sua eficiência na remoção de contaminantes, sejam eles orgânicos e inorgânicos. Este material é capaz de adsorver uma ampla gama de poluentes, incluindo metais pesados, compostos orgânicos voláteis e pesticidas. Além disso, o carvão ativado

vegetal é uma opção ecologicamente correta, pois utiliza resíduos vegetais que seriam descartados, muitas vezes, de forma irregular (Almerindo; Rossol, 2023).

Exemplos de tratamento de água com carvão ativado incluem a filtragem de água potável, onde o carvão ativado é utilizado para remover odores e sabores indesejados além de melhorar as propriedades químicas da água. Em sistemas de tratamento de águas residuais industriais, ele é empregado para adsorver compostos tóxicos e metais pesados, melhorando a qualidade da água antes de seu descarte ou reutilização. Além disso, esse material pode ser utilizado em filtros domésticos e comerciais para garantir a qualidade da água consumida (Sena, 2020; Almerindo; Rossol, 2023).

3. POTENCIALIDADES DO AÇAÍ

O açaí (Euterpe precatória) é uma palmeira nativa da região amazônica, especialmente comum ao longo da Amazônia Ocidental e cultivada em áreas de várzea. Entretanto, diferente do açaí de touceira (*euterpe Oleráceca*), esta palmeira possui estipe solitário (De Jesus *et al*. 2014). A planta é conhecida por seus frutos pequenos e roxos, que são altamente valorizados por suas propriedades nutricionais e antioxidantes. A palmeira de açaí pode atingir até 25 metros de altura e possui um tronco esguio e anelado, com folhas compostas que podem medir até 4 metros de comprimento (Figueiredo *et al*., 2023).

O açaí descartado, como caroços e resíduos da polpa, representa um desafio ambiental, mas também uma oportunidade para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. Esses resíduos podem ser aproveitados para a produção de biocombustíveis, fertilizantes e até mesmo materiais de construção, como por exemplo na forma de agregados no tratamento de água. A utilização dos caroços de açaí descartados pode contribuir para a redução de resíduos e a promoção da economia circular (Figueiredo *et al*., 2023).

As potencialidades do açaí são vastas, abrangendo desde a indústria alimentícia até a cosmética e farmacêutica. O açaí é amplamente utilizado na produção de sucos, sorvetes, suplementos alimentares e produtos de beleza devido às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Além disso, os resíduos do açaí podem ser transformados em produtos de valor agregado, como carvão ativado e compostos bioativos (Jesus *et al*., 2024).

Exemplos dos usos do açaí incluem a produção de bebidas energéticas, cremes para a pele, produtos de higiene pessoal e até mesmo na fabricação de bioplásticos. A versatilidade do açaí e seus subprodutos demonstra seu potencial para contribuir significativamente para diversas indústrias, promovendo a sustentabilidade e a inovação (Jesus *et al*., 2024).

CAPITULO I

NANOTECNOLOGIA COM CARVÃO ATIVADO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

RESUMO

A água para consumo humano requer padrões de qualidade em seu tratamento, sendo assim, diversas etapas são necessárias para sua plena utilização. Uma dessas etapas, pode ser feita através do carvão ativado, que possibilita inibir partículas orgânicas e microrganismos da água. Assim, visando verificar potenciais de aplicação de carvão ativado, com uso de nanotecnologia e açaí, se desenvolve o estudo. Para tal, foi utilizada a revisão sistemática, com descritores em uma base de dados e, segundo critérios de análise e inclusão, foram encontrados e analisados artigos que se encaixavam na temática exposta. Portanto, verificou-se que os estudos, em sua maioria, classificam-se dentro da área da Química Multidisciplinar, e dentre os termos relacionados, está o Tratamento de água. Dentre as aplicações mais correlacionadas estavam as de nanocompósitos de carvão ativado com nanopartículas de prata, carvão ativado através de luz ultravioleta, nanocompósitos mistos, bem como, de forma menos correlata, supercapacitores, nanofiltração de moléculas de benzeno e fenol e sobre a dinâmica do fenol, estático e dinâmico. Tais estudos, ainda que relevantes, mostraram a inexistência das aplicações nanotecnológicas com açaí para carvão ativado.

Palavras-chave: adsorção, sustentabilidade, Amazônia.

ABSTRACT

Water for human consumption requires quality standards in its treatment, so several steps are necessary for its full use. One of these steps can be done through activated carbon, which makes it possible to inhibit organic particles and microorganisms from the water. Thus, in order to verify the potential for the application of activated carbon, with the use of nanotechnology and açaí, the study is developed. To this end, a systematic review was used, with descriptors in a database and, according to analysis and inclusion criteria, articles that fit the exposed theme were found and analyzed. Therefore, it was found that the studies, for the most part, are classified within the area of Multidisciplinary Chemistry, and among the related terms, is Water Treatment. Among the most correlated applications were activated carbon nanocomposites with silver nanoparticles, activated carbon through ultraviolet light, mixed nanocomposites, as well as, less correlated, supercapacitors, nanofiltration of benzene and phenol molecules and on phenol dynamics static and dynamic. Such studies, although relevant, showed the inexistence of nanotechnological applications with açaí for activated carbon.

Keywords: adsorption, sustainability, Amazônia.

INTRODUÇÃO

O consumo humano de água necessita cuidados, dentre eles, da qualidade de pureza da água consumida, e uma das formas de se obter isso, é a partir da utilização do carvão ativado (Westphalen; Corção; Benetti, 2016). As propriedades do tratamento com carvão ativado permitem a melhoria da qualidade, representada pela instabilidade da água, através da diminuição da proliferação de organismos e matéria orgânica (Westphalen; Corção; Benetti, 2016). Com o advento da tecnologia nos métodos de produção do carvão ativado, é comum a adoção de resíduos de outros vegetais, como o café (Brum *et al*., 2008). Os resíduos servem como fonte de obtenção de material de baixo custo e o seu reaproveitamento surge como potencial de utilização em escala industrial (Brum *et al*., 2008).

No entanto, o encontro com áreas multidisciplinares, tem potencializado tais estudos; no caso, a nanotecnologia tem possibilitado a melhoria da produção do carvão ativado, a partir da aplicação de nanopartículas (McGillicuddy *et al*., 2018). A captura de nanopartículas de prata, através de carvão ativado, permitiu aumentar o tempo de exposição de ação do carvão, ao passo que diminuiu sua superfície especifica e concentração de compostos em sua composição, permitindo à amplificação de suas propriedades nano (McGillicuddy *et al*., 2018). Estudos com maior implementação dessas técnicas surgem como exponenciais para aplicações, como os carvões ativados de caroços de açaí, que apresentam sua aplicação para o tratamento de água, a partir da ativação de hidróxido de sódio e cloreto de zinco (Sousa, 2019).

O estudo demonstrou que as variáveis analisadas de pH, turbidez, cor aparente e condutividade apresentaram resultados expressamente positivos, em relação ao tratamento convencional, possuindo ainda a ressalva de se trabalhar com um material de descarte e sendo abundante regionalmente (Sousa, 2019). Portanto, a atual pesquisa busca verificar aplicações nanotecnológicas de carvão ativado que usem, preferencialmente, açaí em sua composição. Tal necessidade surge da carência de perspectivas de tal vertente, tanto para o sentido ambiental, como econômico, além de científico.

METODOLOGIA

Foi adotado o método de revisão sistemática, a partir de descritores pertencentes à busca em uma base de dados indexada. As etapas executadas foram: definição de descritores, adoção de bases de dados, critérios de inclusão e análise, pesquisa e análise de resultados e discussões (Barbosa *et al*., 2017). Foram adotados os seguintes descritores

de busca: “nanotechnology and activated charcoal”, “nanoscience and activated charcoal”, “bionanotechnology and activated charcoal”, “nanotechnology and activated charcoal and euterpe”, “nanoscience and activated charcoal and euterpe”, “bionanotechnology and activated charcoal and euterpe”. Através do acesso da Universidade Federal do Acre, a base de dados utilizada foi a Web of Science.

Foram incluídos todos os trabalhos que contemplavam como objeto de estudo essencial a ferramenta de nanotecnologia, nanociência ou nanobiotecnologia, voltado à aplicação do carvão ativado (Barbosa *et al*, 2017). Conforme o obtido nos itens anteriores, os resultados foram analisados considerando: áreas de concentração de estudos e termos relacionados à pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca pelos descritores acima descritos resultou conforme exposto na Tabela 1. A partir dela, é notório que itens que correlacionavam “nanotechnology and activated charcoal” obtiveram a maior gama de resultados, sendo filtrados através do descritor “nanoscience and activated charcoal”. O descritor “nanobiotechnology and activated charcoal” obteve resultados já contidos no descritor anterior. Importante notar que o objeto desse estudo, os descritores envolvendo *Euterpe*, não obtiveram buscas correspondentes. Sendo então optado pelo obtido no descritor “nanoscience and activated charcoal”, correlacionando as aplicações entre nanociência e carvão ativado.

Tabela 1: Busca de descritores

Descritor	Resultados	%
nanotechnology and activated charcoal	37	75,51%
nanoscience and activated charcoal	9	18,36%
nanobiotechnology and activated charcoal	3	6,12%
bionanotechnology and activated charcoal	0	0,00%
nanotechnology and activated charcoal and euterpe	0	0,00%
nanoscience and activated charcoal and euterpe	0	0,00%
nanobiotechnology and activated charcoal and euterpe	0	0,00%
bionanotechnology and activated charcoal and euterpe	0	0,00%
Total	49	100,00%

Elaborado: Autores (2024).

Dentre os estudos obtidos através do descritor selecionado, a Tabela 2 expõe as áreas de concentração desse estudo. A Química Multidisciplinar obteve a maioria massiva

dos estudos, porém, de forma aproximada, Ciência dos Materiais Multidisciplinar, Nanociência Nanotecnologia e Física Aplicada, obtiveram aplicações semelhantes. No entanto, áreas como Eletroquímica, Combustíveis Energéticos e Compósitos de Ciência dos Materiais, se mostraram com maior carência na indexação.

Tabela 2: Áreas de concentração de estudos encontradas

Áreas de concentração	Frequência	% de 9
Química Multidisciplinar	4	44,44
Ciência dos Materiais Multidisciplinar	3	33,33
Nanociência Nanotecnologia	3	33,33
Física Aplicada	3	33,33
Ciências Multidisciplinares	2	22,22
Física Matéria Condensada	2	22,22
Eletroquímica	1	11,11
Combustíveis Energéticos	1	11,11
Compósitos de Ciência dos Materiais	1	11,11

Elaborado: Autores (2024).

Para as áreas correspondentes, a Tabela 3 explica os termos relacionados aos artigos obtidos. Deles, o maior abrangente se comunica com Tratamento de Água, bem como de forma similar, com Eletroquímica. Enquanto que aos demais estudos, foram apontados estudos unitários de sua frequência absoluta.

Tabela 3: Termos citados relacionados aos estudos obtidos na busca

Termos citados	Frequência	% de 9
2.90 Tratamento de Água	3	33,33
2.62 Eletroquímica	2	22,22
1.113 Imagens do Cérebro	1	11,11
2.123 Estrutura, Dobramento e Modelagem de Proteínas	1	11,11
2,67 Nanopartículas	1	11,11
2.74 Fotocatalisadores	1	11,11
TOTAL	9	100,00

Elaborado: Autores (2024).

A partir dos nove artigos encontrados, foi possível catalogá-los conforme a afinidade para o tema proposto. Em grupos que demonstravam artigos com maior e menor afinidade com o tema. A seguir, destacam-se os estudos que mais se assemelham ao

objetivo da pesquisa realizada. Nanocompósitos de carvão ativado com nanopartículas de prata obtidas em síntese verde, a partir de folhas, nas quais são as aplicações que mais se encaixam na temática (Kiruba *et al*., 2015).

A partir do extrato de cereja indiana (*Malpighia emarginata*), obteve-se efeitos de ação antimicrobiana com resultados superiores à ação convencional, essencialmente quando da análise biológica, os resultados foram maiores para ações contra bactérias como *Escherichia coli* (Kiruba *et al*., 2015). De forma similar ao estudo anterior, uma outra alternativa se verificou da ativação do carvão através de luz ultravioleta (Thirumalai *et al*., 2019).

Métodos hidrotérmicos e de decomposição térmica, mostraram-se eficientes quando ativado pela luz ultravioleta; o que permitiu que o estudo comprovar uma atividade catalítica eficiente, mostrando-se uma alternativa viável tecnicamente (Thirumalai *et al*., 2019). Nanocompósitos mistos também foram verificados na pesquisa, dentre eles, foi observado o nanocompósito de argila e carvão ativado como potencial adsortivo (Chagas *et al*., 2013).

Em relação aos nanocompósitos de argila, os testes de adsorção com corante azul de metileno, indicaram um potencial maior do que o do carvão vegetal convencional, além de apresentar maior desempenho médio de adsorção nas análises fatoriais empregadas (Chagas *et al*., 2013). Os seguintes estudos não necessariamente utilizam o carvão ativado, mas foram encontrados na pesquisa, por se relacionar com vertentes de aplicação similar ao carvão ativado. Embora utilize o carvão ativado, seu potencial para supercapacitores foi explorado a partir de suas propriedades oriundas do comportamento da superfície (Shabeeba *et al*., 2016).

A solução entre um polímero e o carvão ativado gerou um eletrodo com excelentes propriedades de reversão eletroquímica e capacitância (Shabeeba *et al*., 2016). Outra alternativa de aplicação encontrada na pesquisa é o potencial da nanofiltração de moléculas de benzeno e fenol (Medeiros *et al*., 2019). A análise incorporou simulações da dinâmica molecular de tais compostos através do carvão ativado, verificando e projetando sua trajetória de comportamento atestando, então, tal potencial de nanofiltração (Medeiros *et al*., 2019).

Similar ao estudo anterior, a dinâmica do fenol, estático e dinâmico, baseia aplicações que permitem sua adsorção, como o carbono esférico (Bhargavi *et al*., 2013). As propriedades analisadas a partir da simulação, possibilitou notar que altura do leito do adsorvente, vazão e concentração do adsorbato no tempo de ruptura e capacidade de

adsorção, foram mais eficientes no carbono esférico, do que no convencional, salientando o exponencial desse uso (Bhargavi *et al*., 2013).

Nesses estudos, foram notados diferentes processamentos. Nanocompósitos de caulinita e quitosana, na proporção de 80% para 20%, demonstraram maior potencial de adsorção que carvões ativados comerciais, ao passo de uso para tratamento de efluentes industriais (Dey *et al*., 2019). Os artigos seguintes, no entanto, destoam quanto as temáticas buscadas, mas como resultaram a partir da pesquisa para o descritor adotado, são relacionados. Esses estudos verificaram ainda a ação de solventes de hemoperfusão em rins de roedores (Ngamcherdtrakul *et al*., 2019), bem como ação de supercapacitores com eletrodos a base de grafeno (Agudosi *et al*., 2020).

CONCLUSÕES

A revisão utilizando um descritor que correlaciona a nanotecnologia com carvão ativado, indicou nove artigos que se relacionavam à área de Química Multidisciplinar majoritariamente, e dentre seus termos correlatos, estavam os de Tratamento de Águas e eletroquímica.

Quanto aos artigos analisados, foram verificadas aplicações de carvão ativado com tratamento de nanopartículas de prata, luz ultravioleta, e com base de compósitos mistos, além de seus estudos possibilitarem vertentes para exploração de nanofiltração, supercapacitores e dinâmicas de adsorção. Ainda, verificou-se a falta de estudos para aplicações com espécies de açaí, podendo representar exponentes para indústria e tecnologia.

CAPITULO II

PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE FILTRO DE BAIXO CUSTO COM CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO RESÍDUO DE CAROÇO DE AÇAÍ NATIVO

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo produzir carvão ativado (CA) a partir do caroço do açaí da espécie nativa *Euterpe precatoria*, bem como realizar análises físicas do CA e verificar a sua capacidade de filtragem. Para isso, foram realizados três diferentes tipos de CA, sendo dois feitos em laboratório com a variação de temperatura e tempo de exposição e outro tipo de CA realizado em campo (área rural). O CA produzido, tanto em laboratório, como em campo, teve significativa redução de massa aparente e a microscopia eletrônica comprovou ser de boa qualidade. O filtro com o carvão de caroço de açaí mostrou-se eficaz na remoção parcial de coliformes e com um aumento significativo do pH, elevou os níveis de alcalinidade e condutividade, reduziu a dureza e melhorou a turbidez, e provou ser uma ótima ferramenta que, somada com o processo de cloração, pode levar água tratada a comunidades isoladas que não tem acesso a água tratada, tendo características de baixo custo e reaproveitamento de resíduos.

Palavras-chave: Adsorção; Filtro; Amazônia

ABSTRACT

This research aimed to produce activated carbon (AC) from the seed of açaí of the native species *Euterpe precatoria*, as well as to perform physical analysis of the AC and verify its filtering capacity. For this, three different types of AC were carried out, two of which were carried out in the laboratory with the variation of temperature and exposure time and another type of AC carried out in the field (rural area). The AC produced, both in the laboratory and in the field, had a significant reduction in apparent mass and electron microscopy proved to be of good quality. The filter with açaí stone charcoal proved to be effective in partially removing coliforms and with a significant increase in pH, it raised alkalinity and conductivity levels, reduced hardness and improved turbidity, and proved to be a great tool that, added to the chlorination process, it can take treated water to isolated communities that do not have access to treated water, having characteristics of low cost and reuse of waste.

Keywords: Adsorption; Filter; Amazônia.

INTRODUÇÃO

O açaizeiro (*Euterpe precatoria*), de origem nativa da América Central e do Sul, é considerado como a palmeira mais produtiva da região amazônica. Destaca-se por ter frutos consumidos como um alimento básico nessa região do Brasil. Nos últimos anos, o fruto do açaí ganhou a atenção internacional como um alimento funcional, devido aos

seus diversos benefícios nutricionais e terapêuticos (Menezes; Torres; Srur, 2008; Bernaud; Funchal, 2011; Bonomo *et al*., 2014).

Em sua utilização, o açaí possui extrema versatilidade. Em seu uso primário, o consumo alimentício da polpa possibilita uma fonte nutricional, acarretada por uma via de fonte econômica regional aos produtores. Para sua utilização secundária, o caroço, enquanto resíduo, também pode corresponder a uma série de implicações. Nessa ordem, destacam-se também as produções de alimentos e bebidas, a partir do processamento do caroço, bem como sua utilização, na forma de partículas para a construção civil como agregado na filtragem de resíduos (Barbosa *et al*, 2019).

A fabricação de carvão ativado (CA) também é uma perspectiva para os resíduos do açaí. O CA é uma forma de carbono puro de grande porosidade, caracterizado pela extensa superfície em função da granulometria, bem como sua afinidade com a água, permitindo, como produto dessa interação, a filtragem das impurezas presentes nela. Tais atributos dão relevância a esse material, quando se deseja analisar fatores inerentes ao tratamento da água (Fischer, 2019 *et al.*).

Um filtro de carvão tem como principal característica remover contaminantes e as impurezas, utilizando como método a absorção química. O poro do elemento filtrante de carvão tem capacidade normalmente de remover partículas que variam de 0,5 a 50 micrômetros (Sousa, 2019). Além disso, a função social de um filtro pode ir além de suas fronteiras, servindo como alternativa de utilização para tratamento a baixo custo, às comunidades isoladas, como ribeirinhos (Silva, 2018 *et al.*).

A produção de CA do caroço de açaí pode auxiliar na resolução de algumas problemáticas, as quais se relacionam com a correta destinação de resíduos vegetais e seus potenciais intrínsecos à utilização; bem como com a qualidade de tratamento de água, a processos de baixo custo ou impacto ambiental. A esse sinal, verifica-se potencial conforme a produção de outras tipificações de carvão ativado ou materiais adsortivos, com origem em resíduos vegetais, como o caroço do pêssego e do babaçu (Silva *et al*, 2019; Heylmann *et al*., 2021).

Além disso, o uso de um material originado de uma fruta nativa da região pode impulsionar o comércio local, gerando emprego e renda. Esse processo também contribui para a mitigação dos impactos ambientais, uma vez que o material é parte de uma cadeia produtiva que aproveita subprodutos. Logo, se relacionando como um forte indicador de sustentabilidade, pois alia desenvolvimento econômico e preservação ambiental. (Barbosa; Rebelo; Martorano; Giacon, 2019). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi

produzir o CA a partir do caroço do açaí de espécies nativas (*E. precatoria*), bem como caracterizar suas propriedades físicas e de filtragem.

MATERIAL E MÉTODOS

As sementes foram coletadas em um estabelecimento comercial que processa e vende a polpa do açaí no centro da cidade de Rio Branco – Acre. Lá foram adquiridos dois sacos de 60 litros de caroços. Em seguida, o material foi lavado em água corrente até que se retirassem as impurezas. Após a lavagem, foram separados em dois lotes, um foi para o laboratório da Universidade Federal do Acre (UFAC), para secar em estufa, outro foi para o campo para secagem natural ao sol.

No laboratório, os estudos foram desenvolvidos utilizando os métodos estipulados por Sousa (2019) com variação apenas da temperatura de secagem, que foi de 105 ºC, o tempo de espera entre cada processo foi de 24 h. Uma solução ativante foi preparada com a dissolução de NaOH em água na proporção de 80 g de NaOH/L de água. Nesta pesquisa, foram usadas 960 g de NaOH dissolvidas em 12 L de água. Após secagem em estufa, as amostras foram mergulhadas na solução alcalina de soda cáustica, por 24 horas.

Posteriormente, os caroços foram retirados do recipiente de repouso e deixados em peneira para retirar o excesso de solução. Para efeito de comparação, foram retirados 1000,27 g de caroço de açaí que foram previamente submersos na solução ativante de NaOH por 24 horas, e também 1000,40 g de caroço *in natura*, ambas amostras foram secas em estufa a 105 ºC por 24 horas (item A, Figura 1). Para carbonização do CA, a amostra de caroços de açaí foi calcinada em um forno modelo Linn Elektro Therm.

O forno utilizado tem uma taxa de aquecimento de 10°C por minuto e um tempo de queima de 2 horas para cada temperatura estabelecida. O resfriamento das amostras ocorre de forma natural dentro do forno, com as temperaturas de 350°C e 400°C definidas com base nos resultados obtidos em experimentos anteriores. Após a secagem, as amostras de caroço de açaí são transferidas para uma mufla, um forno de temperatura controlada, onde são carbonizadas a cerca de 400°C por 2 horas. Esse processo ocorre na ausência de oxigênio, para evitar a queima total do carbono ativo (CA) presente nas amostras (item B1, Figura 1).

Após o processo de carbonização (pirólise), o material foi pesado. Em ambas amostras houve uma considerável perda de massa. O CA pesou 121,07 g, já o material

que não sofreu ativação química pesou 61,45 g. Depois de triturado, o carvão ativado foi acondicionado em um recipiente cilíndrico, do tipo “vela de filtro” para posterior uso nos testes de filtragem da água.

Figura 1. Fluxograma de etapas desenvolvidas para a produção de carvão ativado em laboratório e em propriedade rural1.

Fonte: Autores (2021).

Diferentemente do que foi realizado em laboratório, no campo, as sementes quimicamente alteradas com o ativante NaOH secaram de forma natural, ao sol, e após foram introduzidas em um equipamento construído de forma rústica assemelhando- se a um torrador de café. O teste no campo foi realizado com as seguintes condições: secagem ao sol, queima utilizando galhos e troncos secos, podendo assim ser comparado com o material feito em laboratório, sendo feito com um tambor de 200 litros, com um tubo galvanizado em seu eixo, e acrescentado duas chapas em seu interior com função de misturador. Em seguida, houve carbonização.

O equipamento era movimentado em torno do próprio eixo, causando uma carbonização uniforme do material. Esse processo durou cerca de 1h30min, até que o

1 A) comparativo entre caroço in natura e ativado com soda cáustica; B1) ativação por queima em laboratório; B2) ativação em propriedade rural; C) comparativo entre amostras ativadas no laboratório e na propriedade rural; D) projeto proposto para execução do filtro; E) filtros em testes de qualidade de água

processo de pirólise fosse concluído. O carvão ativado foi retirado do tambor, resfriado e levado ao laboratório para realizar os testes (itens B2 e C, Figura 1). Depois de triturado, o carvão ativado foi acondicionado em uma vela de garrafa pet de 2 litros para posterior uso nos testes da qualidade da água (itens D e E, Figura 1).

O filtro foi fabricado com o intuito de produzir um material de baixo custo, o reaproveito da garrafa pet. O processo de fabricação utilizou duas garrafas pets que foram coladas com cola instantânea. As camadas utilizadas são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3.Camadas do filtro de areia e carvão ativado de caroço de açaí com a especificação da espessura, faixa de granulometria e peso.

Material	Espessura	Faixa granulométrica	Peso
Areia	3cm	5-20mm	481,66g
Areia	3 cm	0,5-5 mm	484,32 g
Areia	3 cm	0,075-0,5 mm	458,47 g
carvão ativado	5 cm	5-20 mm	104,55 g
carvão ativado	5 cm	0,5-5 mm	92,62 g

Fonte: Autores (2021).

Foram pesadas 4 amostras de carvão com granulometria 2-5 mm separados em provetas de 1000 ml para cada amostra, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4. Amostras e caracterização do carvão ativado de caroços de açaí, local e temperatura de análise2.

Amostra	Material	Local	Temperatura
CAL-01	carvão ativado	laboratório	350ºC
CAC-02	carvão ativado	campo	desconhecida
CAL-03	carvão ativado	laboratório	400ºC
CA-CO	carvão ativado	comercial	-

Fonte: Autores (2021).

Para o teste da eficiência dos filtros, foram coletadas amostras de pontos distintos e isolados, em uma comunidade na zona rural de Rio Branco, onde foram feitos testes de: coliformes, dureza, turbidez, pH, alcalinidade e condutividade, com o objetivo de detectar alguma alteração após a passagem deste fluido pelo filtro, constatando, assim, sua eficiência ou não.

2 CAL-01: Carvão ativado em laboratório, amostra 01; CAC-02: Carvão ativado em campo, amostra 02; CAL-03: Carvão ativado em laboratório, amostra 03; CA-CO: Carvão ativado comercial, amostra 04.

Após os procedimentos de coleta, as garrafas contendo as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor e lacradas com fita e foram transportadas imediatamente ao laboratório de análises da Unidade de Tratamento de Alimentos – UTAL localizada na UFAC. Os testes foram realizados de acordo com o Manual de Análise de Água da Fundação Nacional da Saúde – FUNASA (2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas para peso saturado, peso seco em estufa e de massa específica das amostras CAL-01, CAC-02 e CAL-03 estão apresentadas na tabela 3. Esses resultados mostraram que as amostras de CA de caroços de açaí tiveram maior peso saturado quando comparado ao CA comercial (CA-CO). Por outro lado, o peso seco em estufa das amostras testadas foi menor em relação ao CA-CO, enquanto que a massa específica foi relativamente semelhante entre as amostras de CA de caroços de açaí e CA-CO.

Tabela 5. Densidade das amostras de carvão ativado de caroços de açaí3.

Amostra	**Peso saturado (g)**	**Peso Seco em estufa (g)**	**Massa Específica (g/ml)**
CAL-01	203,00	66,67	0,67
CAC-02	244,59	84,00	0,84
CAL-03	276,53	62,41	0,62
CA-CO	163,51	92,85	0,92

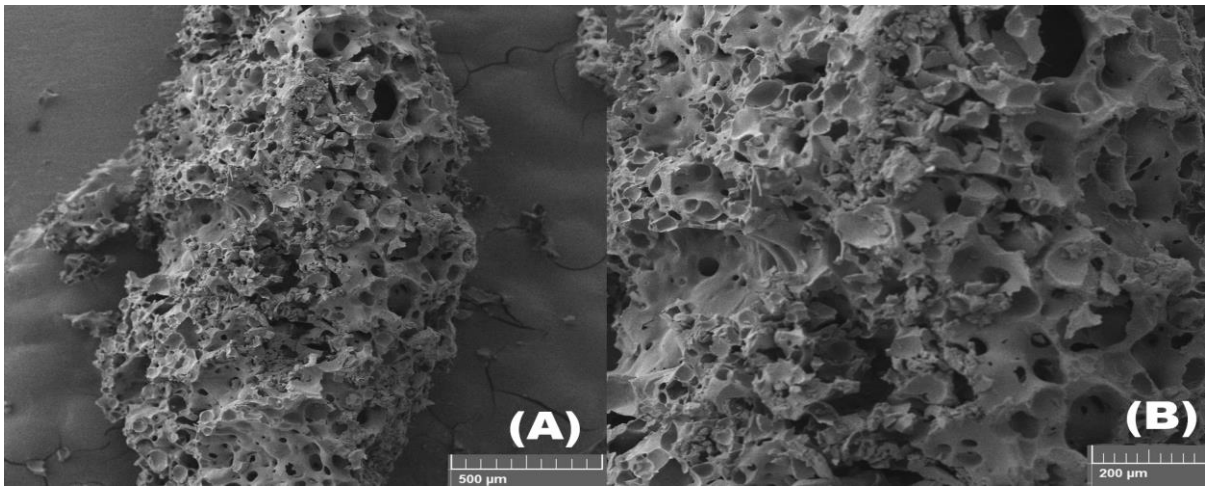
Fonte: Autores (2021).

Os resultados obtidos da microscopia (MEV) estão presentes nas Figuras 2, 3 e 4. A partir das imagens percebe-se que o carvão foi realmente ativado com a presença de mesoporos, microporos primários e microporos secundários presentes na superfície identificada. Esses resultados foram observados principalmente para as amostras CAL-

3 Para as 04 amostras, obteve-se o peso saturado, em contraparte ao peso seco em estufa, que permitiu determinar a massa específica.

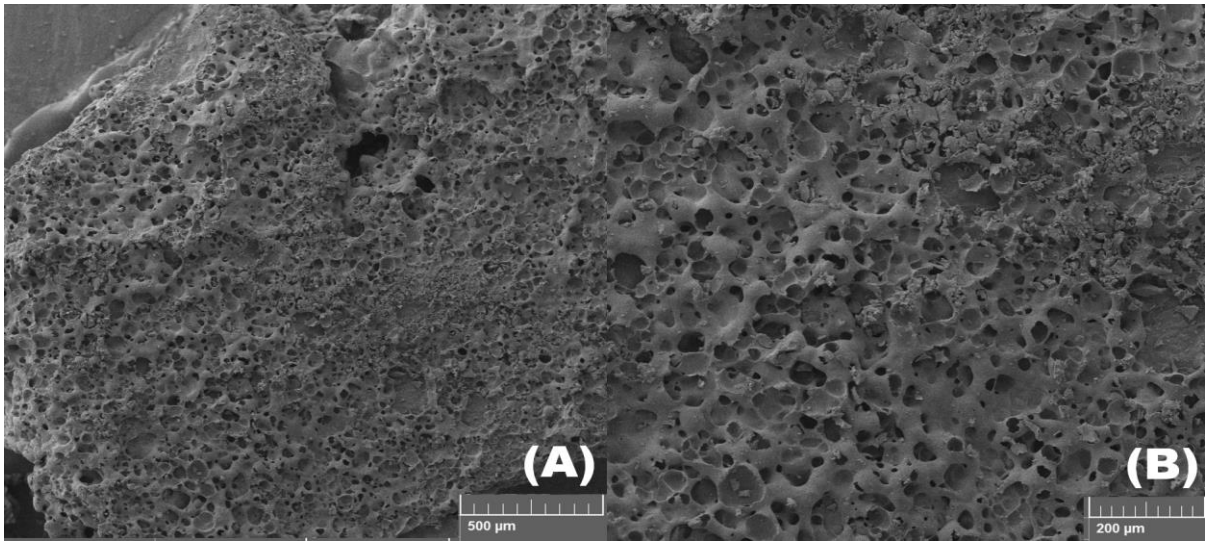
01 (Figura 2) e CAC-02 (Figura 3). Já a amostra CAL-03 possui aspecto foliado devido a superfície ser constituída predominantemente por macroporos.

Figura 2. Microscopia eletrônica de varredura aplicada para o filtro 1 – CA de caroço de açaí a 350ºC, amostra CAL-01.



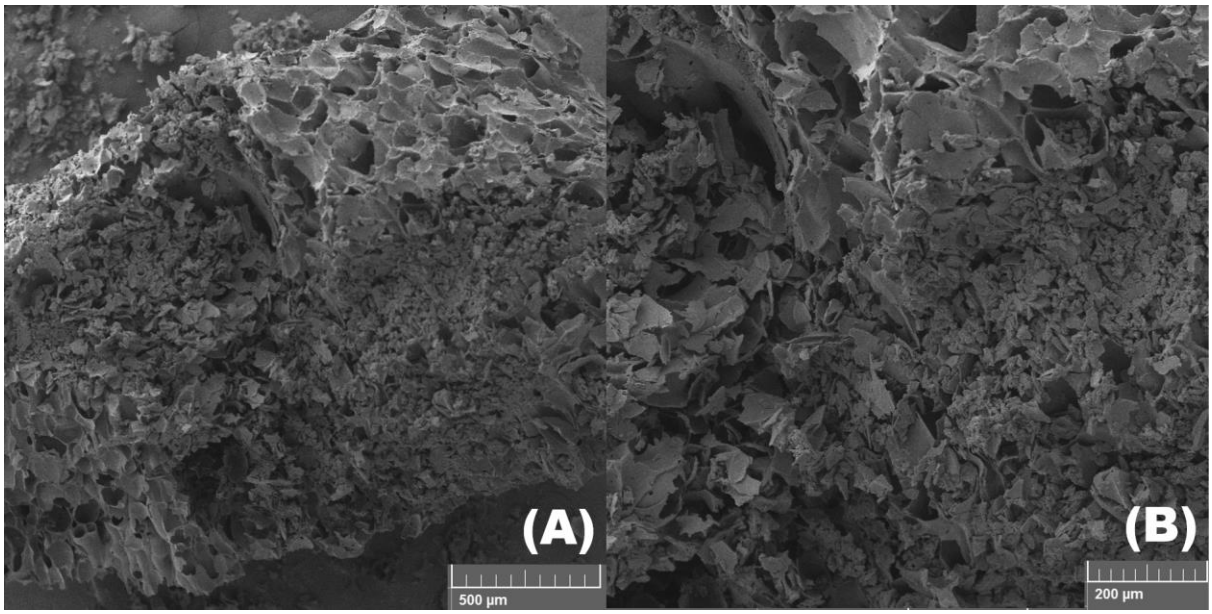
Fonte: Autores (2021).

Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura aplicada para o filtro 2 – CA de caroço de açaí em campo, amostra CAC-02.



Fonte: Autores (2021).

Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura aplicada para o filtro 3 – CA de caroço de açaí em laboratório a 400 ºC, amostra CAL-03



Fonte: Autores (2021).

Foram feitos testes, após a passagem da água, dos protótipos de 3 filtros, como demonstrado na Tabela 6. Observou-se que o pH da água filtrada das amostras CAL-01, CAC-02 e CAL-03 aumentou em relação a água não filtrada, bem como ocorreu relação similar para a turbidez. Na dureza, as amostras CAL-01, CAC-02 e CAL-03 tiveram valor nulo em relação à amostra sem filtração. A alcalinidade e condutividade das amostras CAL-01, CAC-02 e CAL-03 elevaram-se bastante em relação à amostra sem filtração. A importância de obter água dentro dos padrões estabelecidos para a saúde está relacionada à qualidade dos parâmetros como pH, turbidez, dureza, alcalinidade e condutividade. A filtragem da água, como observado nas amostras CAL-01, CAC-02 e CAL-03, resultou em alterações positivas, como a redução da dureza e o aumento da alcalinidade, ambos benéficos para a saúde. O aumento do pH e a diminuição da turbidez indicam melhorias na qualidade da água, tornando-a mais segura para consumo, evitando doenças e garantindo o equilíbrio dos processos fisiológicos no corpo humano. Já a condutividade elevada pode indicar presença de minerais essenciais, mas deve ser monitorada para garantir que não haja excessos prejudiciais.

Tabela 6. Análise físico-química e microbiológica da água sem filtração e com filtração (uso de filtros feitos a partir de carvão ativado de caroço de açaí).

Parâmetros	**Amostra sem filtração**	**CAL-01**	**CAC-02**	**CAL-03**
		Análise Fisico-química		
pH	6,33	8,00	8,67	8,00
Turbidez	4,94	7,15	6,03	3,02

Dureza	32,00	0,00	0,00	0,00
Alcalinidade	38,7	101,661	95,8518	103,5974
Condutividade	167,8	282	240	273
Análise Microbiológica				
coliformes totais	presença	presença	presença	presença
coliformes fecais	presença	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autores (2021).

A determinação do custo unitário de fabricação do filtro, modelado em garrafa PET, com camadas de CA de açaí com resíduo do caroço, areia, feltro, algodão e estrutura com cola, é demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7. Composição do custo de fabricação do filtro de CA com resíduo de caroço de açaí

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	COEFICIENTE	V. UNITÁRIO	V. TOTAL
1	**FILTRO COM CARVÃO ATIVADO DE CAROÇO DE AÇAÍ, COM GARRAFA PET E CAMADAS DE AREIA E FELTRO**	**UND**	**1,00**		**40,20**
1.1	Resíduo de caroço de açaí	Kg	0,00314	0,00	0,00
1.2	Areia	M³	0,002826	68	0,19
1.3	Garrafa pet	Und	2,00	2,26	4,52
1.4	Algodão	Kg	0,000942	47,80	0,05
1.5	Feltro	M	0,00785	26,99	0,21
1.6	Cola	Kg	0,0157	339,80	5,33
1.7	Reagente soda cáustica	Kg	1,00	29,90	29.90

Fonte: Autores (2021).

A pesquisa exposta acima se deu com base no mercado local. Alguns custos, como a verificação do valor da garrafa PET pode ser relativizado a partir da utilização de garrafas reutilizadas. Em relação ao filtro, os quantitativos são obtidos a partir de um filtro com 30 cm de altura, diâmetro de 10 cm, camadas de CA com 2 camadas de 5 cm, areia com 3 camadas de 3 cm, algodão em 1 camada com 3 cm na ponta, feltro com camadas intercaladas entre as demais e cola para acabamento estruturante.

A partir das imagens obtidas observou-se que o carvão foi realmente ativado com a presença de mesoporos, microporos primários e microporos secundários. É por meio desses poros que o carvão ativado realiza o processo de adsorção, tais poros tão pequenos não se formam somente com um processo de pirólise sem a presença de algum

componente químico ativante, neste caso o hidróxido de sódio (NaOH). Similar ao encontrado por Barbosa, Rebelo, Martorano e Giacon (2019), que expõem em suas análises, a presença de microporos, em superfície irregular, característico das partículas resultantes do caroço de açaí. Depreende-se, portanto, a eficiência do processo. Os parâmetros observados, como a presença de mesoporos, microporos primários e microporos secundários no carvão ativado, estão diretamente correlacionados ao processo de adsorção. A ativação do carvão cria uma grande área superficial devido ao aumento da porosidade, permitindo que o material adsorva substâncias. A formação desses poros ocorre não apenas pela pirólise, mas também pela ação do hidróxido de sódio que atua como ativante químico, facilitando a abertura e o desenvolvimento de poros de diferentes tamanhos (Barbosa; Rebelo; Martorano; Giacon, 2019).

Conforme os resultados, pode-se observar que com a ativação ocorreu um aumento significativo do diâmetro dos poros e o surgimento de novos poros, o que é adequado para o processo de adsorção. Essa característica é paralelamente encontrada por Heylmann *et al*. Ao executar o CA baseado no caroço do pêssego. Assim, nota-se que tanto para o processo, como para a característica adsortiva, foram encontrados resultados coerentes, uma vez que se tratam de materiais distintos, com tratamentos similares.

O valor de pH é também um resultado importante para a composição dos chamados índices de qualidade de águas (IQA). A Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Percebe-se que a água da amostra sem filtragem apresentou adequado pH com valor de 6,33. Vale lembrar que a mesma portaria diz que água sem o processo de filtração é desaconselhável, uma vez que podem existir inúmeros contaminantes, podendo tornar o consumo dessa água um tanto quanto inviável.

A água da amostra filtrada 1 (CAL-01), possui os valores limites exigidos pela legislação. Em sequência, o filtro com carvão ativado produzido em campo, amostra filtrada 2 (CAC-02), apresentou índices que permitiram verificar desempenho otimizado em relação aos demais, uma vez que elevou o pH para 8,67, que se encontra dentro da faixa estabelecida. Já a amostra filtrada 3 (CAL-03), que passou pelo filtro com carvão ativado a 400ºC, assim como a amostra filtrada 1 apresentou um pH = 8 mostrando que, neste quesito, todos os valores estão dentro dos padrões estabelecidos.

Dos dados obtidos, percebe-se que nas amostras filtradas 1 e 2 ocorreu um aumento na turbidez com valores de 7,15 e 6,03 respectivamente, ou seja, estão fora dos padrões estabelecidos por norma, que é de no máximo 5,0 UT. Por ser um elemento

poroso e frágil, supõe-se que essa elevação na turbidez seja devido às partículas do próprio carvão, comprometendo, assim, o resultado da amostra. Já a amostra filtrada 3 teve o resultado positivo, pois o valor que anteriormente era de 4,94 UT diminuiu para 3,02 UT, comprovando uma maior resistência do carvão produzido, liberando menos partículas na água.

A dureza da água é a propriedade relacionada com a concentração de íons de determinados minerais dissolvidos nesta substância. Esse fenômeno se deve à presença de determinados cátions na água, principalmente os cátions de cálcio e magnésio. Os dados de dureza da água são expressos como mg/L em $CaCO_3$ (Sousa, 2019).

A Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011, limita a dureza em 500 mg/L $CaCO_3$ como padrão de potabilidade. Diante disso, houve uma redução de 100% na dureza para todas as amostras filtradas, que diminuiu de 32 para 0, sendo a amostra que apresentou dureza 32, a amostra que não foi filtrada. Apresentaram, assim, a classificação do tipo “mole”, em conformidade com o padrão de potabilidade exigido pela Lei.

Segundo o padrão de potabilidade estabelecido pela legislação da Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, não há valor mínimo ou máximo permitido para a alcalinidade da água, pois não representa risco potencial à saúde pública. Entretanto, a alcalinidade constitui-se em um parâmetro importante no controle de determinados processos unitários utilizados em estações de tratamento de águas para abastecimento (Ministério da Saúde, 2004). A partir da comparação das amostras, notou-se que todas apresentaram um aumento na alcalinidade: 1.ª – de 38,7 mg/L, para 101,66 mg/L; 2.ª – para 95,8518 mg/L e 3.ª – para 103,5974 mg/L.

A partir da medida de condutividade elétrica pode-se estimar a salinidade da água, definida como a quantidade total de sais dissolvidos na água. Os sais se dissolvem dando origem a íons de carga oposta e, portanto, contribuem para a condutividade elétrica da solução. Sabe-se que a condutividade está diretamente relacionada com o pH da água (Sousa, 2019).

A diferença de condutividade elétrica e de salinidade é pronunciada entre água doce e água salgada, podendo sê-la mesmo entre dois corpos de água doce de uma região, mas que possuam nascentes diferentes e com fluxos de água de natureza diferente. Portanto, não há um padrão para o que seriam valores de condutividade e salinidade para uma água saudável ou mesmo para um determinado tipo de água, em especial para fontes de água doce, que têm uma forte dependência com a geologia do local (Ministério da Saúde, 2011). Ao invés disso, de maneira geral foram estabelecidos valores padrão para

a quantidade de sólidos dissolvidos totais para determinar se a água é saudável ou não. Mesmo com essa falta de padrões, alguns valores base podem ser estabelecidos para a condutividade elétrica de acordo com a sua natureza. Percebeu-se um aumento na condutividade das 3 amostras, entretanto tais valores ainda continuam dentro dos padrões aceitáveis de potabilidade.

A análise microbiológica revelou que após a filtragem houve presença de coliformes totais em todas as amostras e ausência de coliformes fecais. Entretanto, a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, em seu artigo 34, diz que o processo de cloração é obrigatório em toda a extensão do sistema de distribuição. Esse processo citado pela portaria proporciona a eliminação dos coliformes restantes na água, tornando-a própria para consumo humano. Ainda, o processo de clarificação é o principal responsável pela remoção dos coliformes totais e *Escherichia coli* da água bruta, com remoções superiores a 99% (Lacerda; Rader; Lopes, 2018). Sendo, portanto, indicado como tratamento complementar ao aqui proposto.

Na intercorrência da fabricação do filtro, existe a necessidade do baixo custo, como parâmetro viabilizador de utilização por parte da população ribeirinha. O baixo custo obtido, estimado em torno de R$ 40,20 por unidade, por utilizar majoritariamente materiais de descarte e de baixo custo, reflete-se e assemelha-se ao obtido pela utilização com outros métodos de tratamento de água propostos para populações ribeirinhas (Silva *et al*., 2018).

CONCLUSÃO

A produção de carvão ativado a partir do caroço de açaí alcançou o desempenho esperado quando gerado o filtro montado com areia, carvão e garrafa pet de baixo custo, dessa forma confirma-se a hipótese anteriormente formulada. Percebeu-se que elevou de fato as propriedades da água, com sua capacidade de adsorção, causando o aumento do pH, da alcalinidade, da condutividade e ausência de coliformes fecais, fatores positivos para o tratamento de água potável para consumo humano.

Entretanto, ocorreu um aumento na turbidez em duas das amostras (CAL-01 e CAC-02), e a presença de coliformes totais se manteve, após a filtragem. Ressalta-se que os testes foram feitos utilizando apenas o carvão ativado produzido e areia, sem utilização de nenhum outro processo de filtragem.

Em uma perspectiva futura, adaptações com melhorias da aplicação do método, como a simplificação ou redução das camadas, com aumento na propriedade adsortiva do carvão, pode potencializar a ação de filtração de agentes microbiológicos. Dessa maneira, o filtro de carvão ativado ajudará a população local, sobretudo a população ribeirinha e comunidades isoladas no tratamento de água.

CAPITULO III

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURAL DE CARVÃO ATIVADO OBTIDO DO RESÍDUO DO CAROÇO DE AÇAÍ FUNCIONALIZADO COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA

RESUMO

Do caroço do *Euterpe precatória*, conhecido popularmente como açaí, típica da região amazônica brasileira, foi produzido o carvão ativado por uma metodologia adaptada. Assim, foram executadas etapas de produção de carvão, síntese de nanopartículas e funcionalização do material e análises (Espectroscopia por energia dispersiva, Análise termogravimétrica, Difração de raios-x, Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier, Microscopia eletrônica de varredura e Ensaio de área superficial). Os resultados indicaram que ocorreu a presença de compostos químicos favoráveis ao tratamento, bem como foi possível obter indícios da impregnação da prata pós processo de funcionalização, bem como foi possível observar a estabilidade térmica própria do material; estruturalmente, os poros foram visualizados com fatores de distribuição e dimensões dentro do esperado, além de possuírem satisfatórias propriedades de área e volume. Portanto, os processos desenvolvidos foram suficientes para estabelecer conexões entre o uso funcional de um resíduo, com nanotecnologia, para utilização em tratamento de água.

Palavras-chave: Adsorção; Carvão ativado; Nanopartículas.

ABSTRACT

From the seed of *Euterpe precatória* , popularly known as açaí, typical of the Brazilian Amazon region, activated carbon was produced by an adapted methodology. Thus, stages of charcoal production, nanoparticle synthesis, functionalization and washing, and analyses (Energy dispersive spectroscopy, Thermogravimetric analysis, X-ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy, Scanning electron microscopy and Surface area assay) were carried out. The results indicated that there was the presence of chemical compounds favorable to the treatment, as well as it was possible to obtain evidence of the impregnation of the silver after the functionalization process, as well as it was possible to observe the thermal stability of the material; Structurally, the pores were visualized with distribution factors and dimensions within the expected range, in addition to having satisfactory area and volume properties. Therefore, the processes developed were sufficient to establish connections between the functional use of a waste with nanotechnology for use in water treatment.

Keywords: Adsorption; Reuse; Amazônia.

INTRODUÇÃO

O tratamento de água para consumo humano evoluiu ao longo da história humana, mantendo sempre seu principal objetivo de remoção de poluentes e agentes patológicos;

no entanto, as técnicas vêm se modernizando e adotando pautas, como a sustentabilidade e reuso de materiais para sua maximização de eficiência (Falda *et al*., 2023). A biofiltração, por exemplo, adota técnicas de controle biológico na atuação de seus métodos, além deles, a nanotecnologia também vem proporcionando conceitos ligados à otimização da eficácia de nanomateriais, em face da sua escala de redução nanométrica (Falda *et al*., 2023).

No conceito de utilização sustentável, surgem os carvões ativados a base de origem vegetal, geralmente utilizando partes vegetais com baixo ou nenhum valor comercial, essas técnicas se dão a partir de técnicas de ativação (Westphalen; Corção; Benetti, 2016; Lozano-Reátegui *et al*., 2023). Carvão ativado obtido a partir da casca da vagem de cacau demonstrou grande potencial de retenção de metais pesados, sinalizando como uma boa alternativa no tratamento de contaminações provenientes de corpos hídricos em regiões industriais (Westphalen; Corção; Benetti, 2016; Lozano-Reátegui *et al*., 2023).

Ao analisar também a escala econômica, a concepção de produtos vegetais com atuação no tratamento da água indica potencial para a economia verde, ao evidenciar rotas de economia circular (Almerindo; Russel, 2023). Pensando na reutilização de resíduos cervejeiros, carvão vegetal a partir do bagaço de malte denotou potencial na execução do carvão, além de indicar sua viabilidade técnica-econômica, na escala de funcionalidade e também enquanto produto, evidenciando o leque de possibilidades desta temática (Almerindo; Russel, 2023).

Quando estipulada à perspectiva local, é possível visualizar o potencial de se trabalhar com recursos naturais locais, essencialmente resíduos, que viabilizem a produção de alternativas ao tratamento de água de baixo custo, do tipo carvão: o açaí (Cedrim, 2018). O açaí amazônico nativo possui uma série de benefícios em sua composição; seja o elevado nível de antocianinas (modulam o metabolismo de lipídios) ou a alta capacidade de diminuir o estresse oxidativo, esse fruto é ainda presente na cultura local tendo, através de seu descarte, uma fonte de material com utilização subestimada (Cedrim, 2018).

Ampliando as alternativas de aumento na capacidade de tratamento de águas, conforme anteriormente mencionado, a nanotecnologia vem crescendo e demonstrando ferramentas cada vez mais eficaz e viáveis neste sentido (Abdul-Reda Hussein *et al*., 2024). Aplicações têxteis com enriquecimento de nanopartículas metálicas demonstram resultados em que atividades antimicrobianas e antibactericidas são registradas,

permitindo observar a ascensão dos nanomateriais como eficientes no controle de diversos tipos de agentes patológicos (Abdul-Reda Hussein *et al*., 2024).

Dentro da classificação dos nanomateriais, as nanopartículas metálicas, essencialmente as de prata e ouro, destacam-se pela maior gama de estudos e efetividades aos quais, na sua atuação contra, é mais efetiva (Al-Awsi *et al*., 2024). As aplicações com nanopartículas de prata refletem propriedades antifúngicas, antivirais e antibacterianas, sendo destas, a primeira, com mais amplo conhecimento sobre o que impulsiona seu papel como agente inibitório de diversos vetores (Al-Awsi *et al*., 2024). Portanto, diante do exposto, explicita-se a finalidade desta pesquisa: analisar o carvão ativado obtido a partir do resíduo do açaí nativo amazônico, funcionalizado com nanopartículas de prata para aplicar no tratamento de águas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A produção do carvão ativado foi realizada seguindo a metodologia adaptada de Silva *et al*., 2023. As etapas de produção do carvão ativado (CA). Para a ativação do carvão, foi preparada uma solução de NaOH em água, utilizada na proporção de 80 g de NaOH por litro de água, durante 24 h. Em seguida, os caroços foram retirados do recipiente com solução e alocados em peneira para remoção do excesso de solução impregnada na amostra.

Para a carbonização do CA, a amostra foi calcinada utilizando forno modelo Linn Elektro Therm, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, durante 2 h. Após a secagem, as amostras de foram introduzidas em uma mufla de temperatura controlada, foram carbonizadas em temperatura de cerca de 400 ºC em um intervalo de 2 h. Vale ressaltar que tal amostra foi a que obteve os resultados mais promissores no capítulo passado. Finalizado o processo de carbonização, o material foi pesado, triturado manualmente na granulometria retida na peneira 200 e acondicionado em recipiente hermético para armazenamento com vedação (Silva *et al*., 2023).

A primeira etapa da síntese consistiu na formulação do extrato, onde foram utilizadas as folhas de açaí coletadas no Jardim Zoobotânico da Universidade Federal do Acre. As folhas coletadas foram higienizadas inicialmente, lavadas, secas em estufa a 50 °C (Figura 5) e trituradas. Com 300 g de folhas, ocorreu a fervura em um balão do tipo de fundo redondo, durante um período de 4 h. Em seguida, o extrato foi filtrado com uso

de papel filtro 80, congelado, seco a vácuo por cerca de 72 h, aonde fora armazenado em temperatura de 4 ºC (Sena; Ramos; Farias, 2019; Sena *et al*., 2022).

Figura 5. Folhas de açaí em estufa para processo de secagem.

Imagem: Autores (2024).

A síntese das nanopartículas de prata foi realizada com aplicação de uma solução padrão de nitrato de prata, na proporção 100 mL a 1mM ($AgNO_3$ Sigma-Aldrich, São Paulo), divididas em cinco partes de 10 mL, que posteriormente foram adicionadas a diferentes soluções de extrato, com base nas concentrações a seguir definidas: 100 µg/mL, 150 µg/mL, 200 µg/mL, 250 µg/mL e 300 µg/mL, totalizando um volume final de 15 mL. Após a mistura, a solução foi homogeneizada, incubada durante 24 h, em temperatura ambiente constante. Ao fim do período, a solução apresentou uma coloração marrom avermelhada, indicando a formação das nanopartículas com a reação executada (Sena; Ramos; Farias, 2019; Sena *et al*., 2022).

A funcionalização do carvão ativado ocorreu pelo método de refluxo (Figura 2), produzidas 2 amostras, uma somente com 10 g de carvão ativado em pó, aproximadamente 100 mL de volume, e a outra acrescentando 100 mL de solução com nanopartículas de prata. Assim, foi possível observar os efeitos do refluxo com prata (amostra CF+Ag) e sem a prata (amostra CF, Figura 6 e 7). Após a mistura foi preparada uma solução sulfunítrica na proporção de 3:1, com 300 mL de ácido sulfúrico e 100 mL

de ácido nítrico, inserido em um balão de vidro de 1 L sob um aquecedor, com agitação mecânica constante, em um condensador bola 500 mm com duas juntas e oliva de vidro, durante 3 h com intervalos de 15 min a cada hora (Lima *et al*., 2015).

Figura 6. Execução de refluxo para funcionalização do carvão ativado.

Imagem: Autores (2024).

Figura 7. Aspecto da amostra CF.

Imagem: Autores (2024).

Após o término do procedimento o material foi lavado (Figura 7) com água destilada para retirada do ácido e estabilização em um pH = 5 (Figura8), em seguida as amostras foram para estufa por 24 h, a 105 ºC. Finalmente, foram retiradas, armazenadas e preparadas para envio e análises posteriores (Lima *et al*., 2015).

Figura 8. Aspecto pós-lavagem das amostras funcionalizadas.

Imagem: Autores (2024).

A análise de Espectroscopia por energia dispersiva (EDS) permitiu verificar a composição química das amostras, bem como sua frequência em determinados pontos a partir das leituras em espectros (Sousa, 2019). As amostras foram preparadas e analisadas no equipamento Hitachi TM4000Plus.

A análise termogravimétrica (TGA) possibilitou visualizar os comportamentos quanto a estabilidade térmica das amostras em uma variação de temperatura de 20° a 1000 °C, onde foi possível observar comportamentos endo ou exotérmicos (Linhares *et al*., 2016). As quatro amostras foram preparadas e analisadas em um forno a atmosfera de nitrogênio, a uma taxa de 100 mL/min.

As medidas de Difração de Raios-X (DRX) permitiu buscar picos de cristalização da amostra, identificando compostos amorfos e ainda, indicando pontos de possível impregnação das nanopartículas de prata após o processo de funcionalização (Togny *et al*., 2021). A zona de abrangência de análise considerou áreas com graus de deflexão 2θ entre 0° e 80º. As quatro amostras foram preparadas e analisadas em equipamento de difratômetro de raios X BRUKER (modelo D2 PHASER, radiação Cu-Kα).

A Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) permitiu observar os comportamentos das ligações químicas das amostras, através das vibrações obtidas pelas bandas, que geraram picos, no intervalo do comprimento de onda, variando entre 400 e 4000 cm^{-1} (Dias Júnior *et al*., 2019). As quatro amostras foram preparadas e analisadas em equipamento EDX-720, da marca SHIMADZU.

A análise de Microscopia eletrônica de varredura (MEV) possibilitou a visualização de imagens das superfícies das amostras através da morfologia obtidas em imagens com 50 µm de aproximação (Sousa, 2019). As quatro amostras foram preparadas e medidas em equipamento Hitachi TM4000Plus.

A análise de Ensaio de área superficial (BET) permitiu obter as dimensões de características superficiais das amostras, essencialmente as relacionadas a área e volume dos poros, características primordiais no desenvolvimento de materiais adsortivos, como o carvão em análise (Muller *et al*., 2009). As quatro amostras foram preparadas e medidas em equipamento AUTOSORB IQ Série 14713120201.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As micrografias de onde os espectros foram obtidas se encontram na Figura 9. As micrografias se referem às amostras CA (Figura 9-A), Carvão Natural (CN) (Figura 9-B), CF (Figura 9-C) e CF+Ag (Figura 9-D).

Figura 9. Micrografias de amostras com escala indicada; (a) amostra CA; (b) amostra CN; (c) amostra CF; (d) amostra CF+Ag.

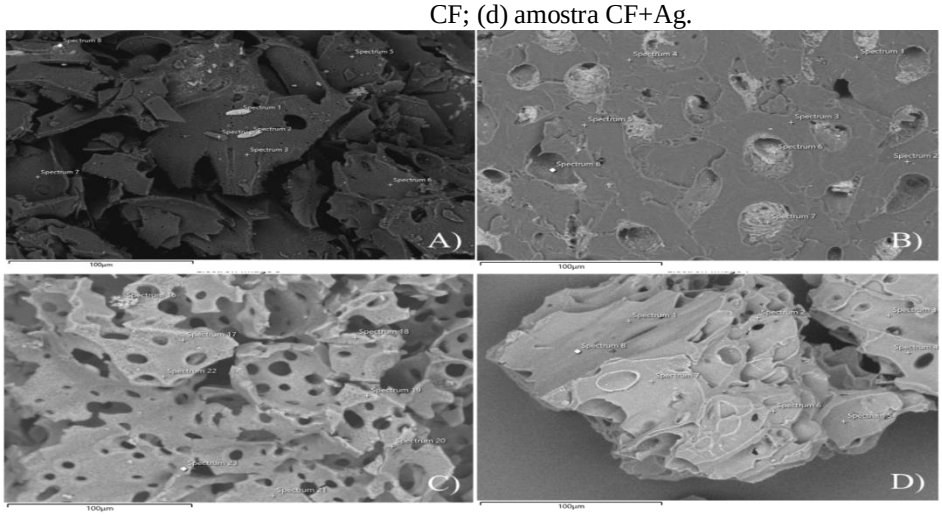
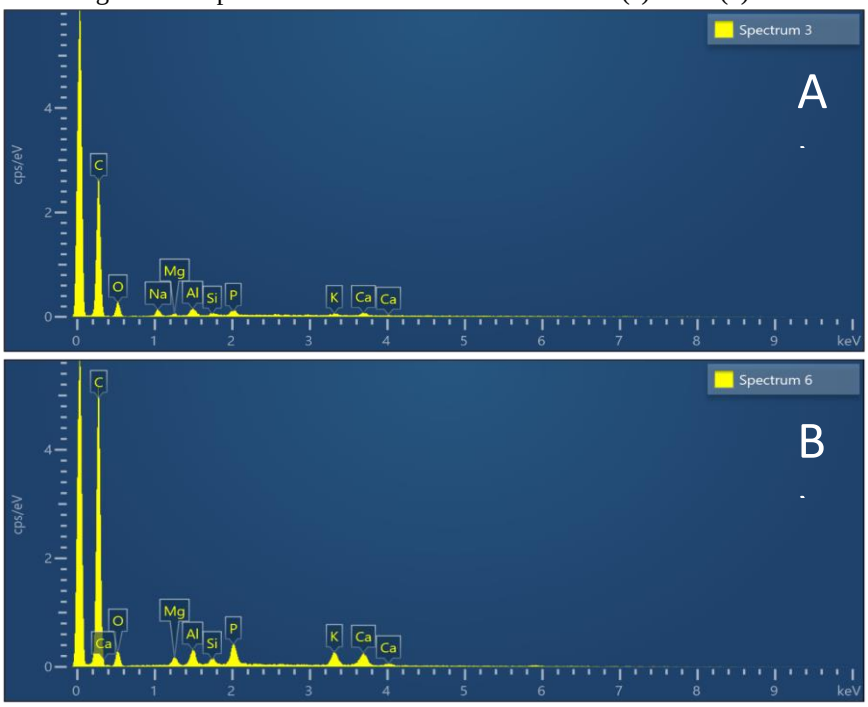


Imagem: Autores (2024).

A Figura 10 expõe os espectros de análise EDS das amostras CA (Figura 10-A) e CN (Figura 10-B).

Figura 10. Espectros de análise EDS das amostras: (a) CA e (b) CN



A Figura 10, demonstra que em ambas amostras, ocorre o predomínio de elementos de Carbono e Oxigênio. Nas últimas fases, ambas amostras também denotam elementos de Potássio e Cálcio. Nas fases intermediárias ocorre a presença de Alumínio, Silício e Magnésio, simultâneos às duas amostras. No entanto, a amostra CA, diferente da CN, possui a presença de Sódio.

A Figura 11 expõe os espectros de análise EDS das amostras CF (Figura 11-A) e CF+Ag (Figura 11-B). A Figura 11 acima demonstra que em ambas as amostras, ocorre o predomínio de elementos de Carbono e Oxigênio, no entanto, essa é a única similaridade entre os elementos expostos nas fases. Nas demais fases intermediária e final do espectro, ocorre a presença de Silício, Magnésio e Sódio, simultâneos às duas amostras. No entanto, a amostra CF, diferente da CF+Ag, possui a presença de Alumínio, Fósforo e Enxofre.

A sumarização detalhada na Tabela 8, permite, de forma complementar às Figuras 10 e 11 anteriores, acompanhar a evolução do tratamento concomitante ao processo químico intercorrente em cada amostra. Conforme anteriormente observado, Carbono e Oxigênio possuem presença ao longo de todas as amostras, onde o Carbono tem pico na

amostra CN, ao passo que Oxigênio tem pico em CF+Ag. Magnésio e Silício também se apresentam, ao longo de todas as amostras, em menor proporção.

Figura 11. Espectros de análise EDS das amostras: (a) CF e (b) CF+Ag.

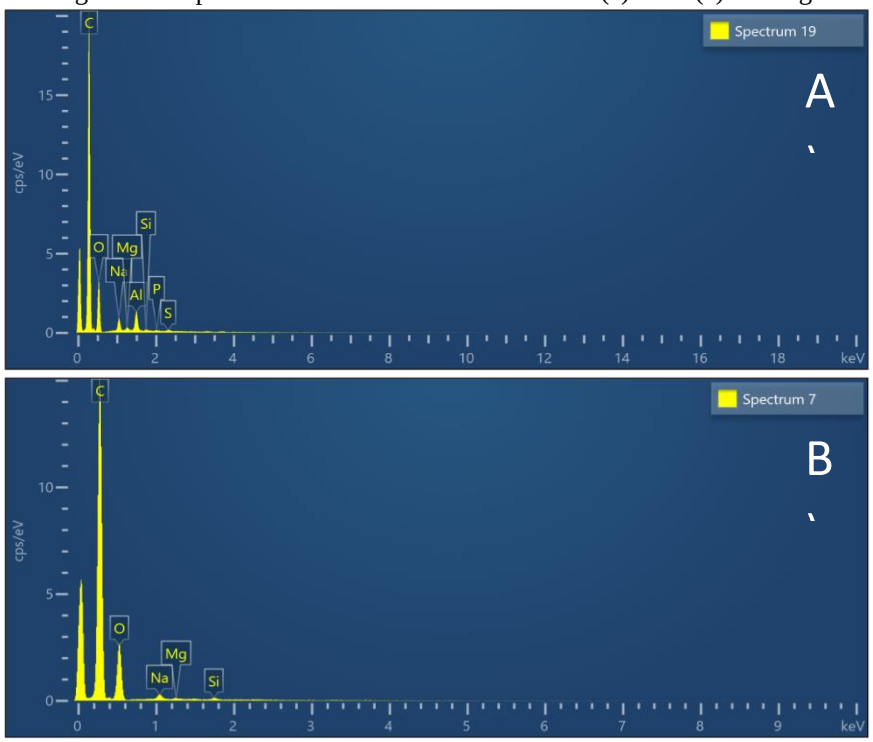


Imagem: Autores (2024).

A distribuição detalhada das proporções de cada elemento é expressa na Tabela 08.

Tabela 8. Distribuição das proporções de cada elemento por amostra.

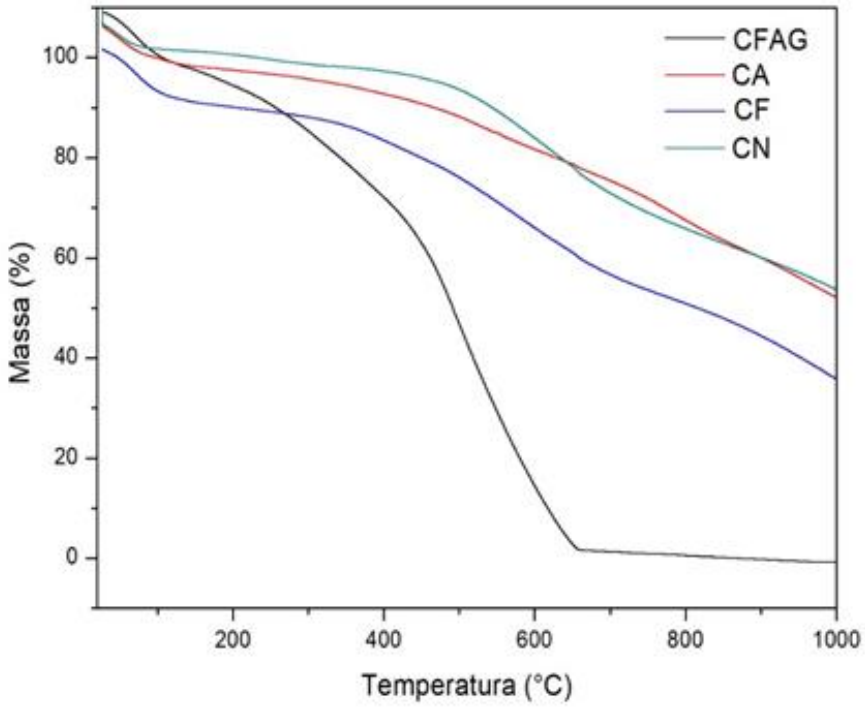
Elemento	**Peso (%)**	**Peso atômico (%)**	**Peso (%)**	**Peso atômico (%)**	**Peso (%)**	**Peso atômico (%)**	**Peso (%)**	**Peso atômico (%)**
	CA		**CN**		**CF**		**CF+Ag**	
C	75,17	83,45	73,98	85,73	69,9	76,38	70,71	76,55
O	14,39	11,99	8,01	6,97	26,51	21,75	28,03	22,78
Ca	2,82	0,94	5,95	2,07	-	-	-	-
P	1,82	0,78	3,55	1,6	0,07	0,03	-	-
K	1,24	0,42	4,94	1,76	-	-	-	-
Al	1,78	0,88	1,85	0,96	1,62	0,79	-	-
Mg	0,46	0,25	0,94	0,54	0,22	0,12	0,16	0,09
Si	0,56	0,27	0,78	0,39	0,09	0,04	0,31	0,14
Na	1,75	1,02	-	-	1,46	0,83	0,79	0,45

S	-	-	-	-	0,13	0,05	-	-
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Elaborado: Autores (2024).

Em relação aos elementos singulares de cada amostra, as amostras CA e CN compartilham a maioria, como Cálcio e Potássio; Sódio é exclusivo em CA, enquanto CN compartilha todos os elementos com as demais amostras. A amostra CF apresenta o maior número de elementos exclusivos, sendo ele o Enxofre e compartilhando com Potássio com CA e CN; Sódio é a única expressão presente entre CF e CF+Ag. Na Figura 12 é expressa a análise termogravimétrica para as quatro amostras estudadas.

Figura 12. Curva TGA das amostras indicadas CFAG, CA, CF, CN.



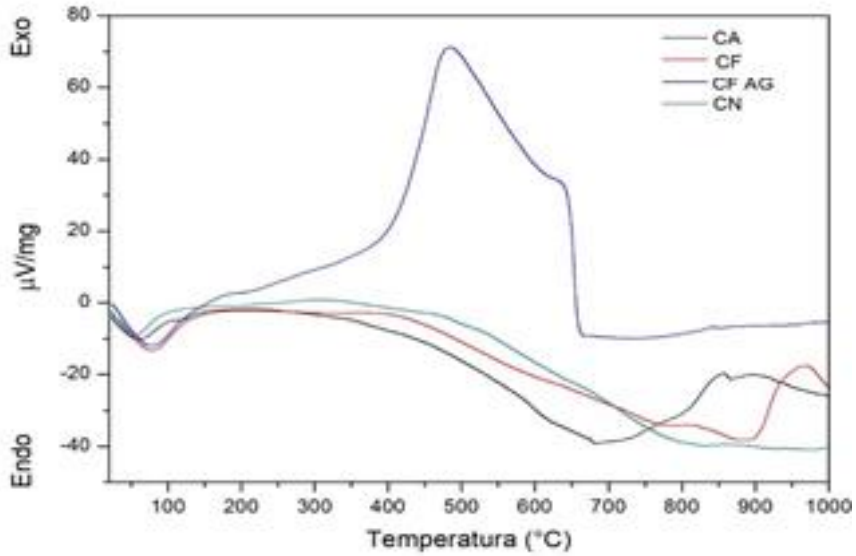
Elaborado: Autores (2024).

Na Figura 12, o comportamento da perda de massa ao longo do aumento progressivo da temperatura, entre 20 a 100 ºC. Dois comportamentos distintos são verificados ao longo da expressão das curvas. Em torno de 650 ºC, a amostra CF+Ag possui um comportamento que indica a perda de quase toda sua massa, uma vez que a massa está tendendo a 0%. Ao contrário de outras amostras, em que no mesmo ponto de temperatura, CA e CN ainda registram cerca de 80% da sua massa; CF registra ainda cerca de 60% da sua massa.

Paralelamente à análise termogravimétrica da Figura 12 anterior, também expõe comportamentos distintos entre as curvas das amostras. Em cerca de 150 ºC, a amostra CF+Ag já inicia comportamento dispare aos demais, tendo um diferencial crescente, em relação às demais. Entre 500 ºC a 650 ºC, essa amostra possui um pico exotérmico, com liberação de calor de seus componentes, singular às demais amostras.

Entre 700 ºC a 900 ºC, as demais amostras apontam picos endotérmicos, com absorção de calor dos seus comportamentos: CA a 700 ºC, CN a 800 ºC e CF a 900 ºC. Finalmente, ao fim da variação em 1000 ºC, CF+Ag se estabilizou, ao passo que as demais amostras apresentaram processos ainda endotérmicos, em diferentes escalas, mas ainda com absorção de calor. Na Figura 13 a seguir é expressa a análise de diferencial termogravimétrico (DTG) para as quatro amostras estudadas.

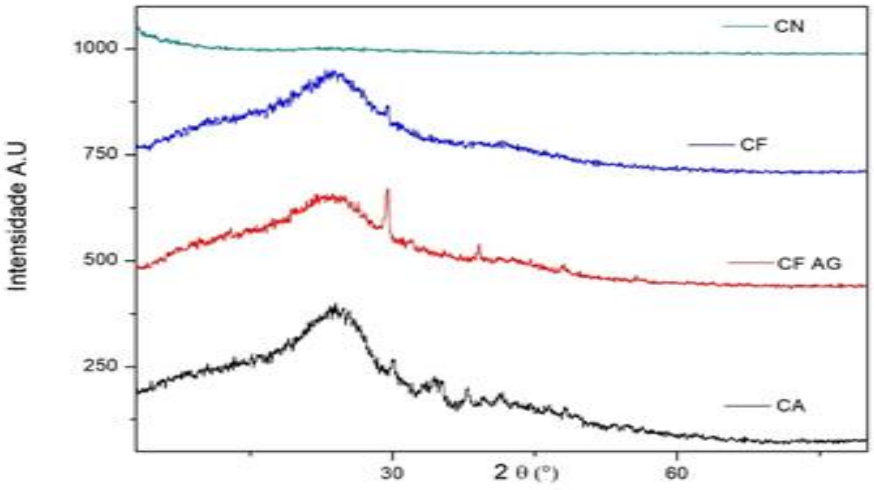
Figura 13. Curva DTG das amostras indicadas, CA, CF, CF AG, CN.



Elaborado: Autores (2024).

A Figura 14 traz as curvas da análise DRX, para as quatro amostras, dentro do intervalo de leitura de grau de deflexão 2θ entre 0 e 80°.

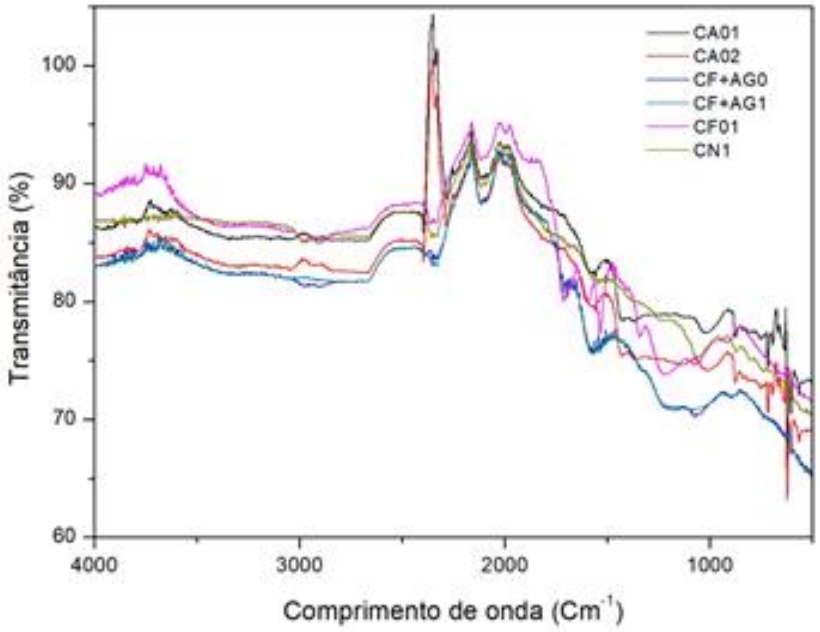
Figura 14. Espectros de análise DRX das amostras indicadas CN, CF, CF AG, CA.



Elaborado: Autores (2024).

A partir da Figura 14, é possível o alinhamento dos picos para as amostras CA, CF e CF+Ag. O pico das amostras CF e CF+Ag, se assemelha por apresentar característica de difusão, variando entre 15° e 30°. O pico da amostra CA é mais concentrado, identificado entre 22° e 28°. A amostra CN, diferente às demais, apresenta ausência de picos, com linearidade entre as fases analisadas para a faixa de difração. A Figura 15 detalha o espectro FTIR das amostras analisadas.

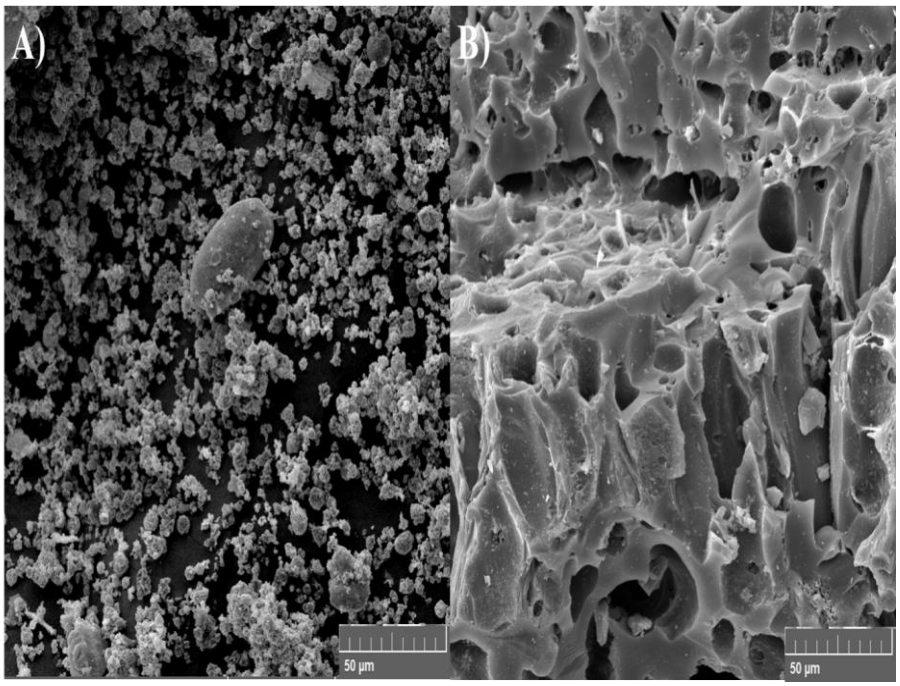
Figura 15. Espectro FTIR, das amostras.



Elaborado: Autores (2024).

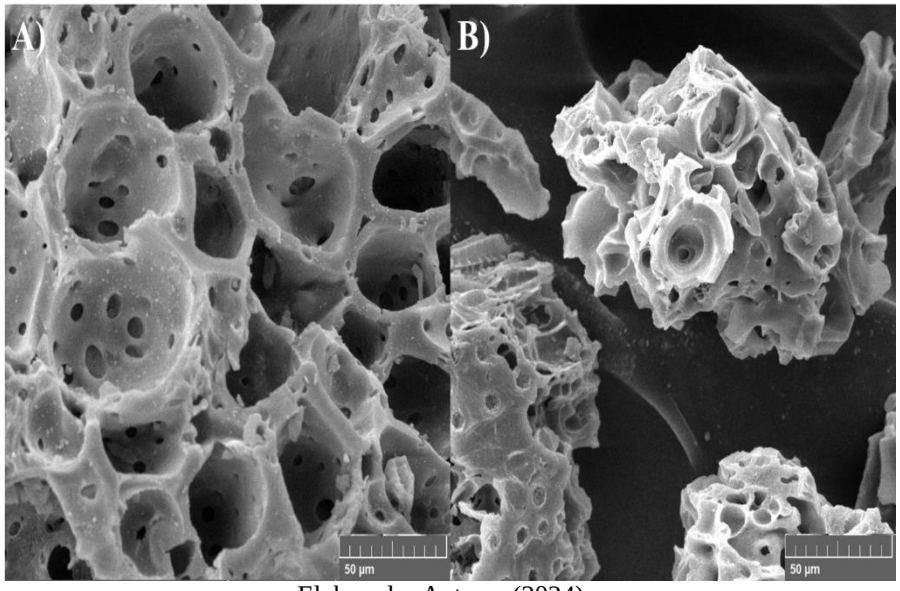
As Figuras 16 e 17 demonstram os resultados da análise MEV para as amostras CA e CN, CF e CF+Ag.

Figura 16. Análises de MEV das amostras (a) CA e (b) CN.



Elaborado: Autores (2024).

Figura 17. Análises de MEV das amostras (a) CF e (b) CF+Ag



Elaborado: Autores (2024).

A Figura 15, expõe o comportamento da transmitância das amostras ao longo da variação do comprimento de onda. Nela, é possível notar que ocorre alinhamento dos picos entre as amostras. Picos inferiores a 1000 cm^{-1} e superiores a 3500 cm^{-1}, são desconsiderados devido à instabilidade. Os picos encontram-se nos respectivos

comprimentos de onda: 1100 cm^{-1} (pico A), 1600 cm^{-1} (pico B), 2100 cm^{-1} (pico C), 2400 cm^{-1} (pico D) e 2700 cm^{-1} (pico E), sendo todos alinhados entre si, devido à natureza da amostra.

As Figuras 16 e 17 mostram os MEVs obtidos a partir das amostras analisadas na escala indicada. A Figura 12-A expõe a amostra CA; a Figura 12-B, amostra CN e a Figura 13-A, a amostra CF, na 13-B, a amostra CF+Ag. Na Figura 16-A, é possível notar a existência de diferentes escalas de superfícies sem presença de poros ou estruturas assim sugestivas; no entanto, na Figura 16-B, com presenças de poros, na amostra CN. Esses poros também possuem distribuição uniforme, quanto a presença e sua dimensão.

Na amostra CF, a estrutura do material possui alterações visíveis, quanto às dimensões dos poros, que se alternam entre menor e maior dimensão, bem como na sua distribuição, onde poros maiores têm maior distribuição e os menores, são interiores a eles. Na amostra CF+Ag, no entanto, a estrutura final do material possui uma configuração diferente às demais. Há ampla distribuição, em frequência e dimensão, dos poros ao longo do material. Também é possível notar que existem estruturas complexas ao longo do interior dos poros, com derivações porosas.

A Tabela 9 expõe os dados obtidos pela análise BET, para as quatro amostras analisadas. As propriedades são relacionadas às características da área superficial, conforme vistas anteriormente no MEV.

Tabela 9. Propriedades são relacionadas às características da área superficial das amostras indicadas.

Propriedade	**CN**	**CA**	**CF**	**CF+AG**
DADOS DE VOLUME DE PORO	2,801e-03 cc/g	1,751e-02 cc/g	4,600e-03 cc/g	3,716e-03 cc/g
DADOS DE TAMANHO DE PORO	2,793e+02 Å	1,025e+02 Å	7,480e+01 Å	
RAIO MEDIO DO PORO	2,79276e+02 Å	1,02492e+02 Å	7,48038e+01 Å	
ÁREA DE SUPERFÍCIE	0,163 m^2/g	2,431 m^2/g	0,671 m^2/g	0,254 m^2/g
VOLUME DE PORO	0,002 cc/g	0,016 cc/g	0,004 cc/g	0,005 cc/g
RAIO DO PORO	88,979 Å	21,515 Å	19,068 Å	158,200 Å
ÁREA DE SUPERFÍCIE	0,201 m^2/g	3,416 m^2/g	1,230 m^2/g	0,000 m^2/g

Elaborado: Autores (2024).

A Tabela 9, mostra a quantificação das propriedades da área superficial entre as amostras. No volume de poros, os tratamentos iniciais, das amostras CN e CA são

menores quando comparados aos finais, tendo o valor máximo na amostra CF. As amostras CN e CA também possuem poros maiores que os da amostra CF; de forma similar o raio médio dos poros confirma também esse comportamento.

Quanto à área de superfície, CA e CF possuem valores mais disparados, sendo CA quase 4x maior que a área de CF, em contrapartida, CF+Ag e CN têm índices menores, sendo CN absolutamente menor. A mesma relação é encontrada quando é analisado o volume do poro, sendo CA disparadamente maior, no entanto, cabe notação aqui ao fato de, em comparação à propriedade anterior, CF+Ag possui um maior volume de poros, cabendo interesse em analisar como a relação de menor área de superfície se relaciona com tal propriedade.

Soma-se isso ao fato de CF+Ag também possui, em termos absolutos, poros com raios maiores, o que ajuda a entender a questão área de superfície/volume, anteriormente verificada; as demais amostras possuem raios de poros menores que os de CF+Ag. Ao fim, a área de superfície de poros, paralelamente à área de superfície anteriormente vista, possui o mesmo comportamento: uma ordem grandeza encabeçada por CA, CF e finalmente, CN.

A análise EDS permitiu revelar a predominância de Carbono e Oxigênio nas amostras, em particular, também houve a incidência de Cálcio, Potássio, Sódio e Enxofre, em algumas das amostras. A ocorrência predominante de Carbono e Oxigênio se alinha com o obtido para carvão ativado obtido a partir de acácia negra, em que ambos demonstraram a predominância maior do que cerca de 80% da proporção da amostra; Cálcio e Fósforo também foram elementos comuns encontrados (Linhares *et al*., 2016).

De forma paralela, carvão ativado com resíduo de açaí e tratado com óxido de sódio também obteve grande similaridade, apontando para a grande expressão de Oxigênio, Magnésio e Sódio, não tendo, no entanto, expressão de Carbono (SOUSA, 2019). A difusão dos elementos das amostras também seguiu o exposto para carvões ativados incorporado de nanopartículas de prata e fibras de algodão, onde, resguardadas as diferenças intrínsecas aos matérias de cada amostra, apresentou comportamento similar nas proporções indicadas para o Carbono (Togny *et al*., 2021). Tais indicativos mostram que os processos para ativação e de incorporação de materiais se deram conforme o esperado.

A análise TGA demonstrou disparidades nos comportamentos da amostra CF+Ag em relação às demais. O comportamento termogravimétrico das amostras incorporadas com Prata se mostrou equivalente ao encontrado em carvões ativado com nanopartículas

de prata e fibra de algodão, onde, após reações de desidratação, despolimerização e decomposição das unidades glicosídicas, nas fases ocorridas entre 400 °C e 600 °C, houve grande aumento da perda de massa, gerando um menor volume, de cerca de 1% na massa residual (Togny *et al*., 2021).

Quando comparadas ao carvão sem ativação através de nanopartículas de prata, em relação a um carvão oriundo de acácia negra, também sem esse tipo de ativação, é possível ver semelhanças nas etapas de degradação de massa, de início com a perda de água, e ao fim, mantendo íntegra e, portanto, indicando a estabilidade térmica das amostras, com cerca de 40% da sua massa residual (Linhares *et al*., 2016). Com esse panorama comparativo, se dá de forma eficaz o método, tanto para a ativação com nanopartículas de prata, como para ativação das demais amostras, no que tange à estabilidade térmica apresentada ao longo dos tratamentos submetidos aos carvões em análise.

A análise DRX permitiu observar comportamentos díspares na amostra CN em relação às demais. A amostra CN, com um tratamento primário, demonstra a ausência de picos em sua curva, apontando para a ausência de compostos em formação cristalina ao longo de sua estrutura, similar ao que acontece com a amostra de carvão ativado a partir da casca de arroz, em um tratamento primário pré-lixiviação, que denuncia as estruturas iniciais da amostra, sem grande variação (Schettino Jr. *et al*., 2007).

Em relação aos picos difusos e concentrados, a sua região de ocorrência, indicados entre os graus 15° e 30° de deflexão 2θ, trazem a confirmação de que, além de compostos amorfos, são indicativos para a incorporação da prata, através de processos como o de carbonização e ativação, similares aos ocorridos em carvões ativados com nanopartículas de prata em incorporação a fibras de algodão, que realizaram picos de 15º a 50º, sendo assim, exteriores a faixa de difração observada nas amostras (Togny *et al*., 2021). Esses indícios, em conjunto às demais análises, podem comprovar a eficácia do processo de incorporação das nanopartículas de prata para a amostra CF+Ag.

Os cinco picos apontados para as amostras, de forma alinhada, se associam com bandas de 1100, 1600, 2100, 2400 e 2700 cm^{-1}, sendo respectivamente, os picos de A e E. No pico A, a pirólise no tratamento das amostras gera a redução da oxidação do material, trazendo também, a degradação de compostos oriundos de hemicelulose, sendo assim, havendo a presença de compostos carbonáceos de aminas, sem oxigênio (Tien *et al*., 2010; Andrade, 2014; Dias Júnior *et al*., 2019). No pico B, característico por ser uma banda presente em 1600 cm^{-1} para carvões vegetais, é possível notar que essa banda se dá

pela vibração de grupos C=C de anéis aromáticos, verificados pela presença de lignina e também pela eliminação do oxigênio na pirólise constada na banda do pico A (Tien *et al*., 2010; Andrade, 2014; Dias Júnior *et al*., 2019).

Vibrações incomuns e do tipo assimétrica são encontradas no pico C, compostas por anéis aromáticos reflexos de tipo C=C, são encontrados com forte interferência nessa banda, sendo incomuns por não serem facilmente encontrados em carvões de tipo vegetal; de forma paralela, anéis aromáticos do mesmo tipo de ligação encontrada e responsável pela vibração nesta banda de frequência, se manifesta no pico D, porém diferindo do pico anterior, este se classifica como do tipo de vibração simétrica (Oliveira *et al*., 2021).

Por fim, o pico E, um dos mais emblemáticos aos carvões vegetais, se caracteriza por estar associada à degradação por pirólise, dos grupamentos de celulose e hemicelulose, relacionado às temperaturas altas de ativação e funcionalização nos carvões Tien *et al*., 2010; Dias Júnior *et al*., 2019). Os agrupamentos oriundos das bandas analisadas através dos picos, se relacionaram com os obtidos por carvões vegetais ativados, bandas intermediárias incomuns, podem estar associadas à presença da funcionalização via impregnação de Prata, necessitando comprovações posteriores por análises mais rebuscadas.

Na análise de MEV, os processos de ativação e funcionalização com nanopartículas de prata permitiram visualizar a existência dos poros, bem como as dimensões apropriadas e distribuição frequente, própria para a função adsorvente do carvão, bem como o obtido em outros tipos de carvão, como o carvão com endocarpo de coco (Kendra, 2010), o carvão ativo contendo nanopartículas de prata com fibras de algodão (Dias Júnior *et al*., 2019), o carvão do caroço de açaí (Ernestina; Maia, 2013), o carvão ativado a partir de material alternativo lignocelulósico (Andrade, 2014) e carvões ativados de caroços de açaí (Sousa, 2019). Permitindo visualizar assim, as efetivas práticas dos métodos adotados.

A análise de BET forneceu uma série de dados onde, sendo os principais e determinantes para visualização e análise de funcionalidade, propriedades de área superficial e volumes de poros, estas possuem maior arcabouço para comparação e inferências dos obtidos (Muller *et al*., 2009; Andrade, 2014; Linhares *et al*., 2016). A área superficial encontrou-se menor que o observado em carvão ativado obtido de acácia negra, mesmo para a amostra com melhor desempenho (CF+Ag); a mesma relação se observou quando comparados o volume de poros de ambos, onde a amostra

funcionalizada com CF+Ag foi cerca de 1/5 do encontrado em carvão ativado obtido de acácia negra (Linhares *et al*., 2016).

Comparado ao carvão ativado em pó, a amostra de CF encontrou valores semelhantes aos obtidos, para a área superficial (Muller *et al*., 2009). Quando observada a linearidade dos resultados obtidos, com outros carvões de base lignocelulósica, conforme constatada na análise FTIR, é possível ver a linearidade crescente do processo de ativação, sendo máximo na amostra CF+Ag, por destacar-se tendo elevada área superficial interna, apontando então para a alta viabilidade quando consideradas as propriedades adsortivas (Andrade, 2014).

CONCLUSÕES

A síntese e a caracterização do carvão ativado com nanopartículas de prata se deram de forma satisfatória. As análises químicas permitiram observar a alta concentração de elementos como o Carbono e Oxigênio, característicos de carvões ativados, em conjunto com a análise termogravimétrica que evidenciou indícios da efetiva impregnação da prata nos compostos, bem como corroborado por resultados do DRX, que convergem ao mesmo sentido. A análise de FTIR permitiu observar o comportamento das ligações ao longo das bandas, tendo sua predominância com compatibilidade a outros tipos de carvão ativado.

Estruturalmente, as análises de BET e MEV, conjuntamente, permitiram visualizar suas estruturas de poros e propriedades físicas, como áreas e volumes, que corroboram ao se compatibilizar com demais aplicações de carvão ativado. Assim, é possível notar que existem fortes indícios, tanto da impregnação da prata, como da sua atuação conjunta em ativação e na melhoria de funcionalização do carvão, sinalizando como um fator importante para tratamento de águas, fruto da conjugação de ferramentas nanotecnológicas e de cunhos sustentáveis.

CONCLUSÕES GERAIS

No decorrer dos artigos apresentados conclui-se que os resultados e as problemáticas citadas foram positivamente satisfatórios, comprovando a eficácia do método de funcionalização de nanopartículas de prata ao carvão ativado produzido da semente do açaí, mostrando-se um forte potencial a ser explorado na economia verde, o que pode ser um grande aliado para a manutenção da floresta em pé, preservando a natureza e gerando potencial econômico.

No capítulo I, foi possível notar a lacuna a qual o estudo segue como início de cadeia para preenchimento com contribuições. No capítulo II, percebeu-se que o tratamento do carvão ativado elevou de fato as propriedades da água, com sua capacidade de adsorção, causando o aumento do pH, da alcalinidade, da condutividade e ausência de coliformes fecais, fatores positivos para o tratamento de água potável para consumo humano. No Capítulo III, foi possível observar que há evidências substanciais, tanto da incorporação da prata, quanto de sua colaboração na ativação e no aprimoramento da funcionalização do carvão, indicando ser um fator relevante para o tratamento de águas.

Sugere-se para trabalhos futuros estudos sobre a aplicação desse material com análises de eficiência, vida útil e capacidade produtiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-REDA HUSSEIN, U.; MAHMOUD, Z. H.; ALAZIZ, K. M. A.; ALID, M. L.; YASIN, Y.; ALI, F. K.; FAISAL, A. N.; ABD, A. N.; KIANFAR, E. Antimicrobial finishing of textiles using nanomaterials. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e264947, 2024. https://doi.org/10.1590/1519-6984.264947.

AGUDOSI, E. S.; ABDULLAH, E. C.; NUMAN, A.; MUBARAK, N. M.; AID, S. R.; VILAU, R. B.; ROMERO, P. G.; KHALID, M.; OMAR, N. Fabrication of 3D binder-free graphene NiO electrode for highly stable supercapattery. **Scientific Reports**, v. 10, p. 11214, 2020.

AL-AWSI, G. R. L.; ALAMERI, A. A.; AL-DHALIMY, A. M. B.; GABR, G. A.; KIANFAR, E. Application of nano-antibiotics in the diagnosis and treatment of infectious diseases. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e264946, 2024. https://doi.org/10.1590/1519-6984.264946.

ALMERINDO, G. I.; ROSSOL, H. V. Análise da viabilidade econômica da produção industrial de carvão vegetal por bagaço de malte. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, p. e20220183, 2023.

ANDRADE, R. C. D. **Preparação e caracterização de carvão ativado a partir de material alternativo lignocelulósico**. 2014. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

BARBOSA, A. de M.; REBELO, V. S. M.; MARTORANO, L. G.; GIACON, V. M. Caracterização de partículas de açaí visando seu potencial uso na construção civil. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 3, 2019.

BERNAUD, R. F. S.; FUNCHAL, C. D. S. Atividade antioxidante do açaí. **Nutrição Brasil**, v. 10, n. 5, p. 310-316, 2011.

BHARGAVI, R.; KADIRVELU, K. Static and dynamic adsorption of phenol from aqueous solution using spherical carbon. **AIP Conference Proceedings**, v. 1538, p. 78, 2013.

BONOMO, L. F.; SILVA, D. N.; BOASQUIVIS, P. F.; PAIVA, F. A.; GUERRA, J. F.; MARTINS, T. A.; TORRES, Á. G. J.; PAULA, I. T.; CANESCHI, W. L.; JACOLOT, P.; GROSSIN, N.; TESSIER, F. J.; BOULANGER, E.; SILVA, M. E.; PEDROSA, M. L.; OLIVEIRA, R. P. Açaí (Euterpe oleracea Mart.) modulates oxidative stress resistance in Caenorhabditis elegans by direct and indirect mechanisms. **PLoS One**, v. 9, n. 3, p. e89933, 2014.

BRUM, S. S.; BIANCHI, M. L.; SILVA, V. L.; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L. C. A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008.

CASTRO, L. A. S. Processamento de amostras para microscopia eletrônica de varredura. **Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 2002.

CEDRIM, P. C. A. S.; BARROS, E. M. A.; NASCIMENTO, T. G. Propriedades antioxidantes do açaí (Euterpe oleracea) na síndrome metabólica. Brazilian Journal of **Food Technology**, v. 21, p. e2017092, 2018.

CHAGAS, N.; QUINAIA, S.; ANAISSI, F.; SANTOS, J.; FELSNER, M.; JUSTI, K. Clay and charcoal composites: characterisation and application of factorial design analysis for dye adsorption. **Chemical Papers**, 2013. https://doi.org/10.2478/s11696-013-0472-z.

DA LUZ FIGUEIREDO, D.; TATIANY RIBEIRO DE SOUZA MENDES, I.; MARIA NOBRE SOUZA, C. Aproveitamento dos caroços de açaí descartados no município de Marituba - PA a partir da tecnologia social. **Cadernos UniFOA**, v. 18, n. 51, 2023. DOI: 10.47385/cadunifoa.v18.n51.3980.

DE AGUIAR LINHARES, F.; MARCÍLIO, N. R.; MELO, P. J. Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia negra com e sem ativação química. **Scientia cum Industria**, v. 4, p. 74-79, 2016.

DE JESUS, L. R.; OLIVEIRA, M. **Monitoramento fenológico do açaí-do-amazonas (Euterpe precatoria Mart.) nas condições de Belém**, PA. 2014.

DEY, S. C.; MOZTAHIDA, M.; SARKER, M.; ASHADUZZAMAN, M.; SHAMSUDDIN, S. M. pH-Triggered Interfacial Interaction of Kaolinite/Chitosan **Nanocomposites with Anionic Azo Dye**. J. Compos. Sci., v. 3, p. 39, 2019.

DIAS JÚNIOR, A. F.; OLIVEIRA, R. N. D.; DEGLISE, X.; SOUZA, N. D. D.; BRITO, J. O. Infrared spectroscopy analysis on charcoal generated by the pyrolysis of Corymbia. citriodora wood. **Matéria (Rio de Janeiro),** v. 24, e12387, 2019.

DOMINGUES, L. F., CRUZ, G. Q. N., DE CASTRO, I. P., ARCHIOLI, I. A., LOPES, L. C., & DE OLIVEIRA, M. R. M. (2021). Produção de carvão a partir da casca de laranja ativado com cloreto de cálcio (CaCl2) e sua aplicação em tratamento de água contaminada com nitrato (NO3-). **Brazilian Journal of Development**, 7(1), 404-413.

ERNESTINA, Escola Estadual de EM Profª; MAIA, P. Carvão do caroço de açaí (Euterpe oleracea) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo. **Livro de Pesquisas**, p. 203, 2013.

FALDA, L. P.; ASSUNÇÃO, E. G.; KURODA, E. K. Concepções de biofiltração aplicada ao pré-tratamento de águas de abastecimento para remoção de contaminantes emergentes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, p. e20220174, 2023. https://doi.org/10.1590/S1413-415220220174.

FERNANDES, D. A.; CARDOSO, A. C. D.; ALMEIDA, L. M. L.; KATO, E. S. O. Circuito Inferior da Economia Urbana na Amazônia: um estudo sobre o papel do mercado de batedores artesanais de açaí na economia da Região Metropolitana de Belém. **In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS**, 13., 2015, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: ABER, 2015.

FISCHER, H. C. V.; LIMA, L. S.; FELSNER, M. L.; QUINÁIA, S. P. Estudo da capacidade de adsorção de carvões ativados comerciais versus tempo de armazenamento. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, 2019.

HEYLMANN, K. K. A.; LOPES, B. V.; AFONSO, T. F.; DEMARCO, C. F.; CADAVAL JÚNIOR, T. R.; QUADRO, M. S.; ANDREAZZA, R. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluente têxtil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, 2021.

JESUS, M. dos S.; BEZERRA, V. S.; DAMASCENO, L. F. **Caracterização química e qualitativa de frutos de açaí coletados em área de várzea do estuário amazônico**. 2024.

KENDRA, D. Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água. **Revista da Graduação**, v. 3, n. 2, 2010.

KIRUBA, V. S. A.; DAKSHINAMURTHY, A.; SUBRAMANIAN, P. S.; SELVAKUMAR, P. M. Green synthesis of biocidal silver-activated charcoal nanocomposite for disinfecting water**. Journal of Experimental Nanoscience**, v. 10, n. 7, p. 532–544, 2015.

LACERDA, A. B.; RADER, A. S.; LOPES, E. S. A eficiência de remoção de coliformes em uma estação de tratamento de água convencional. In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO DA ASSEMAE, 48., 2018, Fortaleza. **Anais [...].** Fortaleza: ASSEMAE, 2018.

LIMA, H. H. C. D.; MASSIAS, B. A.; FERREIRA, R. C.; ARROYO, P. A.; BARROS, M. A. S. D. D. FUNCIONALIZAÇÃO ÁCIDA DE CARVÃO ATIVADO DE DENDÊ NA REMOÇÃO DE PARACETAMOL. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 198-207, 2015.

LOZANO-REÁTEGUI, R. M.; ASENCIOS-TARAZONA, V.; TABOADA-GUTIÉRREZ, F. P.; RUIZ-YANCE, I. O.; GUERRERO-OCHOA, M. R.; PINEDO-CHAMBI, W.; MENDOZA-CARLOS, M. M. Removal of metals from water of Yarinacocha Lagoon with activated carbon from cocoa pod husks. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 108–113, 2023. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p108-113.

MACIEL, R. C. G.; PENHA, D. L. B.; CAVALCANTE FILHO, P. G.; SOUZA, D. L.; MENDONÇA, M. S.; NASCIMENTO, M. D. R.; SOUSA, J. S.; SILVA, J. E. V. C. **Reaproveitamento do caroço do açaí como alternativa na produção de bebida aromática. Tecnologia de Alimentos**, n. 38, p. 557-565, 2020.

MCGILLICUDDY, E.; MORRISON, L.; CORMICAN, M.; DOCKERY, P.; MORRIS, D. **Activated charcoal as a capture material for silver nanoparticles in environmental water samples. Science of the Total Environment**, v. 645, p. 356–362, 2018.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (Euterpe oleracea Mart) liofilizada. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 2, p. 311-316, 2008.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual prático da análise de água: manual de bolso. Brasília: Fundação Nacional de Saúde** – FUNASA, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA N.º 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. Brasília, 2011.

MÜLLER, C. C.; RAYA-RODRIGUEZ, M. T.; CYBIS, L. F. Adsorção em carvão ativado em pó para remoção de microcistina de água de abastecimento público. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 29-38, 2009.

NGAMCHERDTRAKUL, W.; MORRY, J.; SANGVANICH, T.; REDA, M.; BEJAN, D. S.; FRYXELL, G. E.; YANTASEE, W. Removal of a gadolinium based contrast agent by a novel sorbent hemoperfusion in a chronic kidney disease (CKD) rodent model. **Scientific Reports**, v. 9, p. 709, 2019.

OLIVEIRA, E.; BONK, B.; FELIX, E. P.; DOMINGUES, R. C. P. R. Adsorção de monóxido de carbono em carvão ativado convencional e impregnado com 5% de nióbio. **Matéria (Rio de Janeiro),** v. 26, n. 4, e13091, 2021. https://doi.org/10.1590/S1517-707620210004.1391.

RATHOD, S.; PREETAM, S.; PANDEY, C.; BERA, S. P. Exploring synthesis and applications of green nanoparticles and the role of nanotechnology in wastewater treatment. **Biotechnology Reports**, e00830, 2024.

SANTOS, F. S. L. Desenvolvimento rural, agricultura familiar e os produtos florestais não madeireiros: o caso do açaí na região de Feijó, estado do Acre. **Revista de Economia Agrícola**, v. 62, n. 1, p. 5-21, 2014.

SANTOS, T. R. T. D.; MATEUS, G. A. P.; SILVA, M. F.; BERGAMASCO, R. Application of nanotechnology in water treatment: a review. **Uningá Review**, v. 34, n. 2, p. 51–72, 2019.

SCHETTINO JR., M. A.; FREITAS, J. C. C.; CUNHA, A. G.; EMMERICH, F. G.; SOARES, A. B.; SILVA, P. R. N. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz. **Química Nova**, v. 30, n. 7, p. 1663–1668, 2007. https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000700031.

SENA, A. E. C.; PAIVA, A. B. M. L.; DA COSTA SILVA, K. L.; FLORÊNCIO, W. G.; LIMA, S. F. F.; SOARES, D. M.; DA SILVA, L. R. F. Síntese, caracterização e análise antimicrobiana de nanopartículas de prata obtidas através da rota verde com extratos vegetais e síntese inorgânica. **Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 319-332, 2022.

SENA, A. E. C.; RAMOS, A. L.; FARIA, F. S. E. D. V. Avaliação da síntese de nanopartículas de prata sob diferentes concentrações do extrato de Copaíba multijuga (Heine). **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 1, 2019.

SENA, P. L. M. Utilização de carvão ativado vegetal no processo de adsorção: uma revisão bibliográfica. 2020.

SHABEEBA, P.; THAYYIL, M. S.; PILLAI, M. P.; SOUFEEN, P. P.; NIVEDITHA, C. V. Electrochemical investigation of activated carbon electrode supercapacitors. **Russian Journal of Electrochemistry**, v. 54, n. 3, p. 302–308, 2018.

SILVA, J. S.; SANTOS, M. L.; SILVA FILHO, E. C.; CARVALHO, M. G.; NUNES, L. C. Subprodutos do babaçu (Orbignya sp) como novos materiais adsortivos: uma revisão. **Matéria (Rio de Janeiro),** v. 24, n. 3, 2019.

SILVA, M. S.; VIANA, T. H. C.; GOUVEIA, C. L.; PETERS, L. P.; MAIA, G. B. S.; RODRIGUEZ, A. F. R. Produção e aplicação de filtro de baixo custo com carvão ativado a partir do resíduo de caroço de açaí nativo. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 2, e71315, 2023. https://doi.org/10.5902/1980509871315.

SILVA, P. D. Nanotecnologia. **Janus 2006**: A nova diplomacia, 2006.

Silveira, J. T., Rosa, A. P. C., Morais, M. G., Victoria, F. N., & Costa, J. A. V. (2023). An integrative review of Açaí (Euterpe oleracea and Euterpe precatoria): traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International,** 113304.

SOUSA, M. S. **Produção e caracterização de carvões ativados de caroços de açaí e sua aplicação no tratamento de água de manancial superficial**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

THIRUMALAI, K.; IDA, G.; SELVAKUMAR, K.; EASWARAMOORTHY, D.; SWAMINATHAN, M. UV-A light driven activated charcoal supported BiO–ZnO nanocomposites; hydrothermal synthesis and their enhanced photocatalytic and self-cleaning applications. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 19, n. 8, p. 5089-5099, 2019.

TIEN, D. C.; CHEN, L. C.; VAN THAI, N.; ASHRAF, S. Study of Ag and Au nanoparticles synthesized by arc discharge in deionized water. **Journal of Nanomaterials**, p. 1-9, 2010.

TOGNY, L. S.; MORISSO, F. D. P.; BECKER, A. P.; VOLKMER, T. M.; TOPOLSKI, D. K. Síntese e caracterização de carvão ativo contendo nanopartículas de prata para utilização em equipamento de proteção respiratória. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 22, n. 2, p. 187-199, 2021.

WESTPHALEN, A. P. C.; CORÇÃO, G.; BENETTI, A. D. Utilização de carvão ativado biológico para o tratamento de água para consumo humano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 425-436, 2016.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

S729s Souza, Maurício da Silva, 1995 -
Síntese e caracterização de nanopartículas de prata funcionalizadas impregnadas ao carvão ativado produzido a partir do caroço do açaí *Euterpe precatória* / Maurício da Silva Souza; orientador: Prof. Dr. Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez. – 2024.
58 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, 2024.
Inclui referências bibliográficas.

1. Carvão Ativado. 2. Filtragem. 3. Sustentabilidade. I. Rodriguez, Anselmo Fortunato Ruiz (orientador). II. Título.

CDD: 610.7

Bibliotecário: Uéliton Nascimento Torres CRB-11º/10074