

CASCA DE BANANA E FIBRA DE BANANEIRA COMO ALTERNATIVAS NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Banana Peel And Banana Fiber As Water Treatment Alternatives

Loise Becker Raisel¹; Gecciane Backes Toniazzo¹; Jamile Zeni¹; Marcelo Luis Mignoni¹

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada e das Missões – Erechim, loisebecker@hotmail.com, gtoniazzo@uricer.edu.br, jamilezeni@uricer.edu.br e mignoni@uricer.edu.br

Data do recebimento: 24/06/2024 - Data do aceite: 16/09/2024

RESUMO: A indústria da banana gera bilhões de toneladas de resíduos em todas as etapas do processo produtivo, desde a colheita até a comercialização e o consumo. Este artigo apresenta um levantamento bibliográfico de pesquisas em que os resíduos da indústria da banana, especificamente a casca da banana e a fibra do pseudocaule da bananeira, foram utilizados, com resultados satisfatórios, no tratamento de água e efluentes. Foi verificado o emprego da fibra e da casca de banana, por diversos autores, com resultados satisfatórios no tratamento de água e outros efluentes.

Palavras-chave: Água residual, Fibras naturais, Adsorção.

ABSTRACT: The banana industry generates billions of tons of waste at every stage of the production process, from harvesting to commercialization and consumption. This article presents a bibliographic survey research in which the waste of the banana industry, specifically the banana peel and pseudo stem fiber of the banana tree were used with satisfactory results in the treatment of water and effluents. The use of banana fiber and peel was verified by several authors with satisfactory results in the treatment of water and other effluents.

Keywords: Wastewater, Natural fibers, Adsorption.

Introdução

A produção de bananas gera uma variedade de resíduos agroindustriais subutilizados, incluindo partes da bananeira, frutas fora do padrão, polpa e cascas. Esses resíduos são gerados durante a colheita, a pós-colheita, a exportação de produtos frescos e a produção de alimentos como farinha de banana, bananas desidratadas e geleias (Acevedo *et al.*, 2021; Mohd Zaini *et al.*, 2022). Bilhões de toneladas de caules e folhas de bananeira poderiam ser reaproveitados como fonte de fibra, reduzindo a necessidade de fibras sintéticas. A fibra de bananeira apresenta força superior, eficiência de reforço e resistência a fatores ambientais, como temperatura e umidade (Patel; Patel, 2022). As fibras naturais são flexíveis e suas características dependem de seus aspectos físicos e de sua composição química. São reconhecidas por sua capacidade de crescimento autossustentável e eficientes economicamente, por se tratar de material orgânico. Também, é de fácil descarte e compostagem, eficiência econômica, já que se trata de um produto natural que é descartado durante o processo, boa resistência mecânica e leveza (Gupta *et al.*, 2021; Patel; Patel, 2022).

As fibras vegetais e os resíduos podem ser utilizados no tratamento de água, como biofiltros, adsorventes e coagulantes. Um filtro com poros de 25nm elimina com eficácia as bactérias e os microrganismos nocivos da água (Chopparapu *et al.*, 2020; Jyolsna; Gowthami, 2024; Zaman *et al.*, 2020).

Este artigo tem como objetivo identificar e quantificar os resíduos gerados na indústria da banana, destacar as possíveis aplicações da casca de banana e da fibra do pseudocaule da bananeira no tratamento de água e efluentes e apresentar os resultados da literatura consultada.

Trata-se de uma pesquisa bibliográfica que ocorreu entre abril e maio de 2024, abrangendo o período indicado nos filtros de pesquisa disponível no Google Scholar (2020 a 2024). Pesquisou-se com base nos termos “fibra de banana”, “casca de banana” e “reaproveitamento da fibra de bananeira” pesquisados de maneira independente em títulos ou no corpo do texto, em inglês ou português. Inicialmente, a ferramenta de pesquisa utilizada identificou mais de dez mil publicações que apresentariam os termos pesquisados, das quais foram consultados cerca de 120 artigos (aqueles que foram apresentados pelo mecanismo nas cinco primeiras páginas da ferramenta de busca). Entretanto, utilizou-se, desses, que tivessem como objetivo principal a investigação do uso de resíduo agroindustrial de banana no tratamento de água e efluentes. A sistematização seguiu a lógica da temática proposta.

Produção de banana

A banana (*Musa spp.*, família *Musaceae*) é um fruto tropical cultivado em mais de 130 países. Após os cítricos é o fruto mais produzido mundialmente, contribuindo com, aproximadamente, 16% da produção de frutas. Além disso, é a quarta cultura alimentar mais importante. É amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais. Nos últimos anos a produção global de banana atingiu uma média de, aproximadamente, 20 milhões de toneladas por ano, com frutas sendo colhidas o ano todo. O Brasil é o quarto maior produtor de banana, representando 6,6% da produção mundial, com 6,8 milhões de toneladas produzidas em 2023 (Alzate Acevedo *et al.*, 2021; Hikal *et al.*, 2022; IBGE, 2023; Pratikhya Badanayak; Bose, 2023; FAO, 2024).

A indústria da banana gera uma grande quantidade de resíduos sólidos durante o ciclo

de produção, incluindo frutas de tamanho inapropriado, danificadas ou apodrecidas, cascas, pseudocaules, pedúnculos, bulbos, bainhas de folhas e folhas. Estima-se que um hectare de plantação de bananas contribua com, aproximadamente, 220 toneladas de resíduos, que são deixados para apodrecer ou subutilizados (Hikal *et al.*, 2022; Paramasivam *et al.*, 2022; Pratikhya Badanayak; Bose, 2023).

A aplicação de resíduos de processamento de banana, em tecnologia de processamento avançada, tem o potencial de aumentar o valor de um produto básico agregando produtos de maior tecnologia e, conseqüentemente, seu valor comercial, assim como otimizar a utilização de recursos. Esse material apresenta o potencial de ser utilizado em diversos processos, como em embalagens biodegradáveis, biofilmes, fontes de compostos bioativos e, na medicina, pode ser usado para tratar várias doenças, incluindo queimaduras, anemia, condições inflamatórias, problemas digestivos (diarreia e úlceras), diabetes, problemas respiratórios, como tosse, e condições de saúde mental, como depressão, além do tratamento de água e efluentes (Acevedo *et al.*, 2021; Hikal *et al.*, 2022; Hoque; Janaswamy, 2024; Mendes; De Araújo Nunes, 2022).

Casca de banana

A casca de banana é o principal resíduo da fruta, representando de 30 a 40% do seu peso. Um resíduo comum que contém altos níveis de celulose e minerais. A grande quantidade de casca de banana leva a problemas de descarte, bem como a um enorme desperdício de recursos (Hikal *et al.*, 2022; Mohamed *et al.*, 2020).

A casca da banana contém minerais como ferro, cálcio, sódio, fósforo e magnésio, além de uma quantidade significativa de fibra alimentar. Ela também é rica em compostos bioativos, incluindo carotenoides, amins

biogênicas, polifenóis, fitosteróis e antioxidantes. As propriedades antioxidantes da casca de banana podem ajudar a reduzir o risco de doenças. Ela tem atividade antimicrobiana e foi demonstrado que os extratos aquosos de banana exercem um efeito inibitório sobre as bactérias gram-positivas (Bhavani *et al.*, 2023; Hikal *et al.*, 2022).

Podem ser empregadas como ingrediente em várias preparações culinárias, como componente na purificação de água potável, na fabricação de uma grande variedade de produtos bioquímicos como amido, carotenoides e antioxidantes, na produção de resíduos inorgânicos, como etanol e celulase, além de alimentação animal (Hikal *et al.*, 2022).

Aplicações de casca da banana em tratamento de água

A superfície irregular e áspera e a morfologia porosa da casca de banana sugerem que ela tem potencial para ser usada na descontaminação de poluentes da água, como um método econômico de adsorção. Essa adsorção se dá pela penetração de óleo na estrutura interna, o que permite a descontaminação eficiente da água poluída por óleo, por exemplo, podendo atingir até 96% de remoção de óleo. Essa capacidade de retenção, significativamente maior do que a de outros resíduos vegetais, como resíduos de mandioca. A capacidade de adsorção da casca de banana para Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel, Zinco, Azul de Metileno, Acido Salicilico, Uranio, entre outros compostos, está dentro da faixa de 1-100 mg/g, absorvendo óleo até 7000mg/g e Fenol com 688mg/g. Com remoção eficiente de poluentes observados em vários pH (entre 2 e 10) e várias temperaturas, pois apresenta processos endotérmicos e exotérmicos (Akpomie; Conradie, 2020; Mohd Zaini *et al.*, 2022).

As cascas de banana têm potencial para serem utilizadas na absorção de água devido à sua capacidade de retenção de água exibida, que varia de 5,76 g/g a 6,35 g/g, com um índice de absorção de água de 7,58 g/g a 8,11 g/g (Mohd Zaini *et al.*, 2022) particularly those from crop plants, has received great interest. Banana (*Musa spp.*

Foi demonstrado que as cascas de banana são eficazes como adsorventes de metais como o níquel e, no tratamento de águas residuais, criadas em laboratório para simular condições de tratamento e poluentes encontrados em efluentes da indústria. Além disso, seus coagulantes demonstraram ser um meio eficaz de remover a turbidez de águas residuais, com uma eficiência de 88% (Alzate Acevedo *et al.*, 2021; Mohd Zaini *et al.*, 2022).

Quando a casca de banana é colocada em contato com a água residual, o aumento inicial da bioabsorção é atribuído à presença de uma grande quantidade de sítios desocupados na casca da banana. À medida que o tempo passa, a bioabsorção de poluentes atinge um estado de equilíbrio, no qual os locais ativos são gradualmente esgotados e se tornam saturados em equilíbrio. Isso resulta em uma porcentagem constante de bioabsorção ao longo do tempo. (Akpomie; Conradie, 2020).

É observado que um aumento na concentração de poluentes resulta em uma redução na eficiência de remoção, enquanto um aumento na dosagem de casca de banana leva a um aumento na eficiência de remoção (Akpomie; Conradie, 2020). Desta forma, a razão entre a casca de banana necessária para realizar a bioabsorção efetiva do poluente deve ser observada conforme a concentração do mesmo na água a ser tratada.

Um fator limitante para o emprego da casca de banana como bioadsorvente é a quantidade de reusos que este subproduto pode ser utilizado, como forma de aumentar

a vida útil, o ácido nítrico é o eluente mais eficaz para a dessorção de metais pesados da casca de banana, com uma eficácia da reutilização do bioadsorvente em até cinco ciclos ou mais (Akpomie; Conradie, 2020).

Uma outra possibilidade de aplicação da casca da banana são as nano fibras. As nano fibras de nano celulose bacteriana derivadas da casca de *Musa spp.* podem ser obtidas por meio de uma fermentação relativamente barata da bactéria *Gluconacetobacter xylinus*. Esse tipo de nano fibra tem uma faixa de tamanho de 30 a 50nm, o que é essencial para sua aplicação em membranas de filtragem de água. Apresentando várias propriedades físicas e mecânicas distintas, incluindo alta porosidade, capacidade de retenção de água, resistência mecânica, biocompatibilidade, pureza e cristalinidade superior a 90% (Khan *et al.*, 2023; Sijabat *et al.*, 2020).

Diversos estudos indicam a possibilidade da aplicação da casca de banana em tratamento de água e efluentes, conforme apontados no Quadro I, abaixo, seja ela aplicada de maneira in natura, seca e após micronização, como carvão ativado ou ainda em conjunto com outros materiais.

A utilização de cascas de banana, como matéria-prima para o tratamento de água, tem se mostrado bastante promissora como uma abordagem sustentável. A demonstração de que as cascas de banana, tanto em suas formas naturais quanto carbonizadas, apresentam alta eficácia na remoção de metais pesados, incluindo cádmio, chumbo, cromo e ferro fica evidente. As taxas de remoção de cromo, após a carbonização, chegaram a 98,5%, enquanto que as de cádmio chegaram a 99% (Yusuf *et al.*, 2020; Maia *et al.*, 2024), enquanto a remoção de chumbo demonstrou ser 100% eficaz (Mohamed *et al.*, 2020). Além disso, a síntese de bioadsorventes e nanocelulose bacteriana, a partir de resíduos de casca de banana, foi otimizada para apli-

Quadro I - Investigações de Aplicação de Casca de Banana

| Objetivo primário da pesquisa | Resultado | Referência |
|---|--|--|
| Investigação do uso potencial de cascas de banana como matéria-prima para carbonização hidrotérmica aplicada no tratamento de água. | O Cádmiu foi removido por cascas de banana cruas e carbonizadas, com 75 e 99% de remoção, respectivamente. | (Yusuf <i>et al.</i> , 2020) |
| Síntese de bioadsorvente de casca de banana e avaliação do desempenho de adsorção de metais pesados. | A eficiência máxima de remoção dos íons Pb e Fe foi de 100% e 64%, respectivamente. | (Mohamed <i>et al.</i> , 2020) |
| Otimização da síntese de nano celulose bacteriana a partir de resíduos de casca de banana para aplicações em membranas de filtração de água. | A síntese de nano celulose bacteriana, a partir de cascas de banana, foi realizada com sucesso em condições de pH 4, 0,5% de ureia e porcentagens variáveis de teor de sacarose, sendo o teor de 5% com os melhores resultados em termos de densidade da nano celulose. O experimento produziu nano celuloses com tamanhos de diâmetro entre 30 a 50nm. | (Sijabat <i>et al.</i> , 2020) |
| Avaliação da utilização de cascas de banana como etapa final de filtração na limpeza de água de diversas origens. | Apesar de a água não ter atingido os critérios microbiológicos para o consumo, pois as águas após passarem pelo filtro desenvolvido no âmbito do experimento ainda apresentavam contaminação por coliformes totais, identificou-se o potencial da casca como etapa de tratamento, já que outros critérios, como sólidos totais dissolvidos, pH, turbidez estavam de acordo com os parâmetros exigidos. | (Harmi Tjahjanti <i>et al.</i> , 2021) |
| Investigar a aplicabilidade das cascas de banana para remediar a contaminação da água com corantes reativos (preto, vermelho e amarelo) usados no setor têxtil. | A quantidade de grupos hidroxila, amina e carboxílico na superfície da casca de banana causa altas interações adsorvente-adsorvato, resultando na eficiência de remoção de corante. Cerca de 20% dos corantes foram removidos com concentração de 0,1g de casca e 94% com o aumento da concentração para 0,5g em 250mL de solução com corante. | (Aker <i>et al.</i> , 2021) |
| Investigar o uso de resíduos de casca de banana como coagulante natural para a remoção da turbidez da água sintética e o tratamento da água de rio. | Apesar da baixa remoção da turbidez (entre 76 e 84%) houve redução na cor dos sólidos dissolvidos e suspensos e nas demandas de oxigênio químicas e bioquímicas. | (Azamzam <i>et al.</i> , 2022) |
| Avaliar o desempenho do composto de cascas de cactus e de bananas como coagulante natural para o tratamento de água. | As eficiências de remoção de turbidez, total de sólidos suspensos e <i>E. coli</i> foram de 87,13, 82,15 e 84,02%, respectivamente. | (Kalibbala; Olupot; Ambani, 2023) |

| Objetivo primário da pesquisa | Resultado | Referência |
|---|---|----------------------------------|
| Investigar o potencial de um processo híbrido que combina coluna de filtração de areia com adsorvente macro composto de casca de banana ativada para tratamento de água de rio. | Houve remoção de 87% da demanda bioquímica de oxigênio, 44% da demanda química de oxigênio, e 75% de sólidos suspensos totais e 54% de nitrogênio amoniacal na vazão de 1,15 ml/s. | (Apandi <i>et al.</i> , 2023) |
| Avaliar a eficácia de um coagulante a base de cascas de banana e das sementes de mamão para a remoção da turbidez da água de rio. | O coagulante registrou porcentagem de remoção de 95,7% da turbidez inicial, maior que a remoção de sulfato de alumínio (75,6%). | (Razali <i>et al.</i> , 2024) |
| Avaliar o uso de resíduos de casca de banana em pó como coagulante natural na redução da turbidez da água sintética e na purificação da água de rios. | O pó reduziu significativamente a cor da água, o total de sólidos dissolvidos e suspensos e a demanda química e bioquímica de oxigênio na água do rio, mas reduziu a turbidez em apenas 75% para o pó não modificado e 83% no modificado. | (Dharsana; Jose, 2024) |
| Utilizar cascas de banana como resíduos agroindustriais para sintetizar carvão ativado para a remoção de amoxicilina e carbamazepina de água. | O carvão ativado de casca de banana revelou-se um adsorvente muito eficiente para a remoção de fármacos de diferentes águas. Foi facilmente regenerado e usado com eficácia sete vezes em várias matrizes de água. | (Al-Sareji <i>et al.</i> , 2024) |
| Utilizar extrato da casca de banana na produção de nanopartículas de prata, a serem utilizadas na remoção de azul de metileno em água. | As nanopartículas de prata sintetizadas no composto de nanopartículas e extrato de casca de banana removeram cerca de 85% do corante. | (Jyolsna; Gowthami, 2024) |
| Sintetizar um hidrogel com e sem carvão ativado de casca de banana e citrato trissódico, como agente de interligação e amido para remover elementos com potencial tóxico. | Obteve-se uma eficiência de remoção de Cr ⁶⁺ de 98.5% com o hidrogel com carvão ativado de casca de banana. | (Maia <i>et al.</i> , 2024) |

cações em membranas de filtração, demonstrando eficácia em uma gama de condições de pH e concentrações de ureia (Sijabat *et al.*, 2020). Além da versatilidade em ser empregada em várias matrizes de água, essas descobertas não apenas ressaltam a eficácia das cascas de banana como adsorventes naturais, mas também destacam seu potencial como uma solução econômica e ecológica para o tratamento de água. Elas contribuem, significativamente, para a redução de resí-

duos agroindustriais e para a promoção da sustentabilidade ambiental.

Reaproveitamento do pseudocaule da bananeira

A medula da banana, obtida da parte interna do pseudocaule e, normalmente descartada, serve como fonte de fibra de banana. A fibra é composta por células unitárias com

orientação paralela e estruturas semelhantes a tubos. Essa estrutura contribui para o transporte de água e nutrientes no caule (Cecci *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2021; Badanayak; Bose, 2023).

A composição química da fibra de banana pode variar de acordo com a espécie, a localização geográfica, as condições agroclimáticas, os nutrientes do solo, a idade da planta e as condições de extração. É composta, principalmente, de lignina (5-10%), celulose (60-65%), hemicelulose (6-19%), pectina (3-5%), cinzas (1-3%) e outros componentes (3-6%). Essa fibra natural é conhecida como fibra lignocelulósica (Cecci *et al.*, 2019; Badanayak; Bose, 2023).

A fibra de bananeira tem alta resistência à tração e ao calor e boa capacidade de fiação, podendo ser usada em tecidos, fios e roupas. As fibras de banana podem se misturar, facilmente, com outras fibras (Chopparapu *et al.*, 2020).

Compósitos reforçados com fibras naturais apresentam excelentes propriedades mecânicas devido à sua composição química e estrutura exclusivas. O diâmetro da fibra de banana, de 110 μ m, é mais fino do que a fibra de sisal (205 μ m) e mais grosso do que a fibra de juta (59,39 μ m) (Acevedo *et al.*, 2021; Cecci *et al.*, 2019).

Há vários métodos de extração de fibra de banana do pseudocaule: manual, mecânico, químico e biológico. O tratamento biológico resulta em uma maior produção de fibras e melhor qualidade das fibras devido ao aumento da uniformidade e do brilho das fibras, enquanto a extração mecânica é comumente usada devido à sua produtividade. Em todas as formas de extração, o pseudocaule de banana saudável e recém-cortado é separado em camadas antes de ser processado (Patel; Patel, 2022; Badanayak; Bose, 2023; Oyewo *et al.*, 2023) hybridization, and characterization can make them find wide suitability in many applications. Extensive efforts have

been expended lately to make Banana Pseudo Stem (BPS).

A extração manual da fibra é feita por extração direta, que é realizada com objetos pontiagudos. Essa técnica produz fibras sem muitos defeitos na superfície da fibra; no entanto, é trabalhosa e a produção é muito baixa (Badanayak; Bose, 2023).

A máquina de descorticação, na extração mecânica, consiste principalmente em rolos de alimentação e rolo raspador. Os pedaços do pseudocaule da banana são colocados nos rolos de alimentação e eixo da matriz do pseudocaule da banana é separado da fibra com a ajuda do rolo raspador. As camadas de polpa descorticada são removidas pelo rolo raspador, revelando as camadas de fibra. As camadas de fibra são secas ao sol antes do armazenamento. Este processo pode ser ineficiente na remoção da goma ao redor da superfície da fibra (Paramasivam *et al.*, 2022; Oyewo *et al.*, 2023) hybridization, and characterization can make them find wide suitability in many applications. Extensive efforts have been expended lately to make Banana Pseudo Stem (BPS).

A extração de fibras usando produtos químicos é conhecida como degomagem. Como a lignina, a hemicelulose, as gorduras e as ceras são ácidas, geralmente são usados álcalis suaves, como sabão ou carbonato de sódio, para a degomagem, e o processo é realizado em ebulição por 30 a 60 minutos. Produtos químicos como hidróxido de sódio (NaOH), oxalato de amônio (NH₄)₂C₂O₄ ou sulfito de sódio (Na₂SO₃) são empregados na extração química da fibra de banana para remover elementos estranhos não fibrosos. Os agentes de degomagem são um fator decisivo que afeta as qualidades da fibra (Paramasivam *et al.*, 2022; Patel; Patel, 2022; Badanayak; Bose, 2023).

Na maceração direta em água, os pseudocaules são imersos diretamente em água

contendo combinações microbianas por, pelo menos, sete dias. Bactérias e fungos selecionados (*Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Clostridiaceae*, etc.) em ambiente favorável podem atacar parcialmente a biomassa lignocelulósica e podem ser empregados para a extração de fibras (Patel; Patel, 2022; Badanayak; Bose, 2023).

Uma combinação de enzimas pode ser empregada para a remoção da fibra de banana depois que um método mecânico é aplicado para a remoção de materiais de ligação residuais, após a extração preliminar da fibra. As enzimas comumente usadas para a extração de fibra são celulase, pectinase, hemicelulase e lignina peroxidase. O tratamento da fibra de banana extraída por máquina com enzimas, em condições otimizadas, resulta na produção de fibras de melhor qualidade (Paramasivam *et al.*, 2022; Pratikhya Badanayak; Bose, 2023).

Aplicações da Fibra de Bananeira

A utilização da fibra do tronco da bananeira foi investigada como material adsorvente para a remoção da demanda química de oxigênio e sólidos totais solubilizados, demonstrando sua eficácia na remoção de óleos e graxas (Nasaruddin; Radin Mohamed, 2021) total suspended solid (TSS).

A celulose e a hemicelulose dos pseudocaulos da banana criaram filtros para eliminar poluentes orgânicos na água. A medula da bananeira demonstrou uma capacidade excepcional de remover o cádmio em condições ácidas, alcançando uma notável eficiência de remoção de 98,5%. (Acevedo *et al.*, 2021).

Identificar aplicações de sucesso deste resíduo faz-se necessário para entender o valor deste material que é, ainda, sumariamente descartado nas fazendas brasileiras e mundiais de banana. Desta forma, o Qua-

dro II, na sequência, apresenta estudos nos quais a fibra do pseudocaulo da banana foi empregada no tratamento de águas e outros efluentes, como água residual na suinocultura e na indústria têxtil.

A utilização de fibras, resíduos do descortado, celulose e celulose microcristalina do pseudocaulo da bananeira, em uma série de aplicações de tratamento de água e ar, produziu resultados muito promissores. Vários estudos indicam que as membranas de filtro compostas de fibras de folha de bananeira, combinados com outros vegetais ou substâncias, são eficazes na remoção de impurezas, promovendo uma melhora nas características da água (Nandorf *et al.*; 2021), assim como, resultou em água purificada com níveis ideais de partículas dissolvidas e livre de bactérias *E. coli* (Chopparapu *et al.*, 2020).

A eficácia na remoção de partículas coloridas em águas residuais é atribuída à presença de grupos hidroxila (OH). A capacidade do bioadsorvente à base de celulose de remover corantes é notável (Akpomie; Conradie, 2020). Apresentando uma absorção de 42,28mg/g de azul de metileno, a casca de banana mostra-se mais interessante que outros resíduos agroindustriais, como casca de abacaxi, serragem de pinus e bambu (Lermen *et al.*, 2021). A funcionalidade da superfície da celulose foi modificada e empregada de forma eficaz para a remoção de uma variedade de moléculas orgânicas e inorgânicas de soluções aquosas (Akpomie; Conradie, 2020).

O uso de biofiltros construídos a partir de pseudocaulos de bananeira demonstrou o potencial de reduzir parâmetros críticos, incluindo a demanda biológica e química de oxigênio e sólidos suspensos totais, em águas residuais (Zaman *et al.*, 2020). Além disso, a incorporação de lignocelulose de banana, em filmes compostos, melhorou, significa-

Quadro II - Fibra de Bananeira aplicadas em tratamento de água e outros efluentes

| Objetivo da pesquisa | Fibras empregadas | Resultado | Referência |
|--|---|---|---|
| Produzir uma membrana filtrante que além de remover as impurezas da água, incorporasse novamente os sais perdidos na ultrafiltração. | Fibra das folhas de bananeira, batata doce, espinafre, tamarindo e esponja vegetal. | O nível total de partículas dissolvidas da água purificada por essa membrana de filtro é indicado por um valor de 195 mg/l, que está dentro da faixa ideal de 150 mg/l a 300 mg/l. Isso demonstra que a água foi efetivamente purificada, tornando-a livre de todas as bactérias E. coli e outras impurezas. Além disso, a presença de minerais e sais na água purificada indica que ela é uma opção saudável para consumo. | (Chopparapu <i>et al.</i> , 2020) |
| Produção de um biofiltro para tratamento de água residual. | Fibras do pseudo-cale da bananeira. | Foi identificado um potencial de redução nos parâmetros Demanda Biológica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio e Sólidos Totais Suspensos. | (Zaman <i>et al.</i> , 2020) |
| Efeito da nano celulose nas propriedades mecânicas e de barreira em filmes de compósitos com fibra e álcool polivinílico. | Fibra de pseudocaulo de bananeira e álcool polivinílico. | A adição da lignocelulose da bananeira fez com que os filmes de compósitos fossem mais resistentes à água . | (Srivastava <i>et al.</i> , 2021) |
| Fabricação de filtro orgânico para o tratamento de água residual de suinocultura. | Fibra do pseudo-cale da bananeira sob compressão de 12.490 N.m ² . | O filtro não removeu totalmente os sólidos e a cor. Entretanto, foi eficiente na remoção do nitrogênio (70%) e do fósforo (62,5%). | (Nandorf <i>et al.</i> , 2021) |
| Absorver corante azul de metileno em água residual. | Fibras do pseudo-cale da bananeira. | Absorção de 42,28mg/g de azul de metileno, em condições ideais de pH, concentração da fibra e concentração do corante. | (Rahman <i>et al.</i> , 2022) pseudo-sistem banana (Musa acuminata) |
| Observar o potencial do descortado do pseudo-cale da bananeira como adsorvente de ferro. | Descortado do pseudo-cale da bananeira. | O pseudo-cale descortado removeu o íon Pb(II) da água, com um máximo de adsorção de 179,9mg.g ⁻¹ . | (Kokate; Parasuraman; Prakash, 2022) |
| Investigar a capacidade de filtragem do biofiltro feito de celulose extraída do tronco da bananeira em microplásticos de lavanderia. | Celulose extraída do pseudo-cale da bananeira. | O biofiltro foi capaz de reduzir a concentração de microplásticos, conforme evidenciado por uma diminuição na intensidade do pico CH ₂ de 1449cm ⁻¹ para 1402 cm ⁻¹ . | (Siahaan <i>et al.</i> , 2024) |

| Objetivo da pesquisa | Fibras empregadas | Resultado | Referência |
|---|--|---|--------------------------------------|
| Desenvolvimento de filtros de ar para a captura de partículas finas e ultrafinas. | Fibras do pseudo-caule da bananeira usando polpa tratada com álcali e polpa branqueada. | O filtro feito combinando a liofilização e prensagem de 2 toneladas produziu os melhores resultados, com uma média de 83% para as menores partículas e 89% para as demais, com uma média de queda de pressão de 558 Pa. | (Martín-Cruz <i>et al.</i> , 2024) |
| Investigar o efeito sinérgico da adsorção e da fotocatalise na remoção dos corantes azul de metileno e violeta de metila em água. | Celulose microcristalina derivada do resíduo das fibras do pseudo-caule da bananeira tratadas com explosão a vapor seguido de tratamento ácido-alcalino. | A eficiência máxima de degradação de 98% do azul de metileno foi alcançada com o uso de H ₂ O ₂ assistido por pó de celulose microcristalina, sob irradiação UV. | (Saravanakumar <i>et al.</i> , 2024) |

tivamente, suas propriedades mecânicas e de barreira (Srivastava *et al.*, 2021). Essas descobertas reforçam a versatilidade e a eficácia das fibras de banana como um recurso sustentável para o tratamento de água e ar, reduzindo, assim, os resíduos agroindustriais e avançando em soluções ecológicas.

Apesar de o biofiltro de caule de banana representar uma alternativa promissora no tratamento primário de águas residuais, o entupimento gradual dos poros do filtro apresenta uma limitação no seu uso. Esse entupimento indicará que a capacidade de filtração do material foi excedida, o resultará em baixas taxas de fluxo do líquido abaixo dele sendo necessária a substituição do elemento filtrante. Essa periodicidade das trocas depende da quantidade de efluente e da concentração de sólidos presentes (Nandorf *et al.*, 2021).

Uma outra restrição para o uso do pseudo-caule, a baixa resistência física, pode ser remediada adicionando-se uma matriz de polímero, para fortalecer ainda mais a fibra de banana, agindo como um adesivo interfacial. O poliuretano é a matriz de polímero

mais usada para adesão à fibra de banana (Chopparapu *et al.*, 2020).

Considerações finais

Existe uma grande quantidade de resíduo que é gerada em uma cultura agroindustrial de enorme relevância, como a produção da banana, que ainda é descartada ou subutilizada.

Contribuindo no estudo da aplicação destes materiais, neste artigo, realizamos uma revisão bibliográfica, para quantificar e apresentar as maneiras de criação de resíduos na indústria bananeira, identificar estudos já realizados publicados em bases de dados científicos sobre a aplicação de materiais ainda subutilizados na cadeia de produção e apresentar de maneira simplificada os objetivos e os resultados deles. Identificamos estudos que apontam o uso promissor da casca de banana e da fibra do pseudo-caule da bananeira, rejeitos da indústria, no tratamento de água e de efluentes.

Esses materiais têm demonstrado eficácia e podem contribuir para soluções sustentáveis, quando aplicados no tratamento de água, quando observados os diversos estudos nesta pesquisa referenciados, apesar de muitos deles ainda necessitarem de aplicação direta e a sua consequente avaliação no meio investigado, deixando de lado os efluentes sintéticos, que simulam uma realidade diferente da real. E uma eventual aplicação deste subproduto, em escala comercial, ainda precisa ser estudada, devido à necessidade de treinamento

específico para a operação, aparatos e investimentos necessários e a possível criação de contaminantes secundários que podem ter uma dificuldade adicional de descarte.

Investir em pesquisas e práticas que valorizem esses resíduos é fundamental para promover uma agricultura mais sustentável e consciente. Ao fazê-lo, estaremos não apenas criando valor na cadeia de produção, mas também contribuindo para um futuro mais promissor e responsável.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, S. A. D.; CARRILLO, A. J.; FLÓREZ-LÓPEZ, E.; GRANDE-TOVAR, C. Recovery of banana waste-loss from production and processing: a contribution to a circular economy. **Molecules**, v. 26, n. 17, p. 5282, 2021.
- AKPOMIE, K. G.; CONRADIE, J. Banana peel as a biosorbent for the decontamination of water pollutants. a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 4, p. 1085-1112, 2020.
- AKTER, M.; RAHMAN, F B A.; ABEDIN, M Z; KABIR, S M F. Adsorption characteristics of banana peel in the removal of dyes from textile effluent. **Textiles**, v. 1, n. 2, p. 361-375, 2021.
- AL-SAREJI, O J; GRMASHA, R; MEICZINGER, M; AL-JUBOORI, R. SOMOGYI, V; HASHIM, K S. A sustainable banana peel activated carbon for removing pharmaceutical pollutants from different waters: production, characterization, and application. **Materials**, v. 17, n. 5, 2024.
- APANDI, N. M.; MUHAMAD, M. S. WEE YEK, T.; SUNAR, N. M.; NAGARAJAH, R. Activated banana peel macrocomposite adsorbent for river water treatment: isotherm and kinetic studies. **Water Practice & Technology**, v. 18, n. 4, p. 753-770, 2023.
- AZAMZAM, A. A. R.; YAHYA, E. AHMAD, M. LALUNG, J. ALAM, M.; SIDDIQUI, M. R.; Enhancing the efficiency of banana peel bio-coagulant in turbid and river water treatment applications. **Water**, v. 14, n. 16, 2022.
- BHAVANI, M.; MORYA, S.; SAXENA, D.; AWUCHI, C.; Bioactive, antioxidant, industrial, and nutraceutical applications of banana peel. **International Journal of Food Properties**, v. 26, n. 1, p. 1277-1289, 2023.
- CECCI, R. R. R. PASSOS, A. A. DE AGUIAR NETO, T. C.; SILVA, L. Banana pseudostem fibers characterization and comparison with reported data on jute and sisal fibers. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 1, p. 20, 2019.
- CHOPPARAPU, R. T. BALA CHENNAIAH, M.; SRIVALLI, G.; KARTIK RAJU, S.; DILEEP KUMAR, E.; SYCAM, V. DASARI, R. Biodegradable polymer filter made from fiber composites for addition of minerals and salts to water. **Materials Today: Proceedings**, v. 33, p. 5607-5611, 2020.
- DHARSANA, M.; JOSE, J. P. A. Application of nano-banana peel bio-coagulant for the treatment of turbid and river water. **Chemistry Africa**, v. 7, n. 1, p. 429-441, 2024.

- FAO. 2024. **Banana Market Review 2023**. Rome. 2024. Disponível em < <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1085e3ed-0f37-4e7d-848d-cdfe203be158/content>. Acesso em: set. 2024.
- GUPTA, U. S. DHAMARIKAR, M. DHARKAR, A.; CHATURVEDI, S.; TIWARI, S.; NAMDEO, R. Surface modification of banana fiber: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 43, p. 904-915, 2021.
- HARMI TJAHIJANTI, P. *et al.* The analysis of banana peels are used as water purifying materials. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1764, p. 12174, 2021.
- HIKAL, W. M. *et al.* Banana Peels: a waste treasure for human being. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2022, p. 1-9, 2022.
- HOQUE, M.; JANASWAMY, S. Biodegradable packaging films from banana peel fiber. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 37, p. 101400, 2024.
- IBGE. **Produção de Banana**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/banana/br>. Acesso em: Set. 2024.
- JYOLSNA, P.; GOWTHAMI, V. Detailed investigation of the catalytic abilities and adsorption curves of banana peel with nanodendrite silver nanoparticles for wastewater purification. **Journal of integrated science and technology**, v. 12, n. 5, p. 822, 2024.
- KALIBBALA, H. M.; OLUPOT, P. W.; AMBANI, O. M. Synthesis and efficacy of cactus-banana peels composite as a natural coagulant for water treatment. **Results in Engineering**, v. 17, p. 100945, 2023.
- KHAN, H. *et al.* Biotransformation of banana peel waste into bacterial nanocellulose and its modification for active antimicrobial packaging using polyvinyl alcohol with in-situ generated silver nanoparticles. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 38, p. 101115, 2023.
- KOKATE, S.; PARASURAMAN, K.; PRAKASH, H. Adsorptive removal of lead ion from water using banana stem scutcher generated in fiber extraction process. **Results in Engineering**, v. 14, p. 100439, 2022.
- LERMEN, A. M.; FRONZA, C. S.; DIEL, J. C.; SCHEIN, D.; CLERICI, N. J.; GUIMARÃES, R. E.; BOLIGON, S. D.; SCHER, A. C. Utilização de resíduos agroindustriais para adsorção do corante azul de metileno: uma breve revisão **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 1, p. 273-288, 2021.
- MAIA, L. S.; PEREIRA, P. H. F.; DA SILVA, A. I. C.; DA COSTA, T. B.; MULINARI, DR. ROSA, D.; A novel starch-based composite hydrogel enhanced by activated charcoal from the banana peel for water decontamination. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 141, n. 29, 2024.
- MARTÍN-CRUZ, Y.; BORDÓN, P.; PULIDO-MELIÁN, E.; SAURA-CAYUELA, T.; MONZÓN, M.; Development of cellulose air filters for capturing fine and ultrafine particles through the valorization of banana cultivation biomass waste. **Environments**, v. 11, n. 3, 2024.
- MENDES, C. O. B.; DE ARAÚJO NUNES, M. A. Acoustic performance of the banana pseudostem fiber. **Applied Acoustics**, v. 191, p. 108657, 2022.
- MOHAMED, R. M. HASHIM, N. ABDULLAH, S.; ABDULLAH, N.; MOHAMED, A.; DAUD, M.; MUZAKKAR, K. F. A. Adsorption of heavy metals on banana peel bioadsorbent. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1532, n. 1, p. 12014, 2020.
- MOHD ZAINI, H.; ROSLAN, J.; SAALLAH, S. MUNSU, E.; SULAIMAN, N. S. PINDI, W. Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. **Journal of Functional Foods**, v. 92, p. 105054, 2022.
- NANDORF, R. J. MONACO, P. A. HADDADE, I. R. PAULA, L. I. S. SALLA, P. H.; VIEIRA, G. H. S. Performance of filters composed of banana stalk in swine wastewater treatment. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 2, p. 479-485, 2021.

- NASARUDDIN, N. S.; RADIN MOHAMED, R. M. S. An overview of activated carbon coconut shell and banana trunk fiber as bio-filter for kitchen wastewater treatment. **Journal of Advancement in Environmental Solution and Resource Recovery**, v. 1, n. 1 SE-Articles, p. 29-35, 2021.
- OYEWO, A.T. OLUWOLE, O. O.; AJIDE, O. O.; OMONIYI, T. O. HUSSAIN, M.; Banana pseudo stem fiber, hybrid composites and applications: A review. **Hybrid Advances**, v. 4, p. 100101, 2023.
- PARAMASIVAM, S. K. PANNEERSELVAM, D. SUNDARAM, D. SHIVA, K. N. SUBBARAYA, U.; Extraction, characterization and enzymatic degumming of banana fiber. **Journal of Natural Fibers**, v. 19, n. 4, p. 1333-1342, 2022.
- PATEL, B. Y.; PATEL, H. K. Retting of banana pseudostem fibre using *Bacillus* strains to get excellent mechanical properties as biomaterial in textile and fiber industry. **Heliyon**, v. 8, n. 9, p. e10652, 2022.
- PRATIKHYA BADANAYAK, S. J.; BOSE, G. Banana pseudostem fiber: A critical review on fiber extraction, characterization, and surface modification. **Journal of Natural Fibers**, v. 20, n. 1, p. 2168821, 2023.
- RAHMAN, M. W.; NIPA, S. T. RIMA, S. Z.; HASAN, M. M. SAHA, R.; HALIM, A.; ALI, Y.; DEB, A.; Pseudo-stem banana fiber as a potential low-cost adsorbent to remove methylene blue from synthetic wastewater. **Applied Water Science**, v. 12, n. 10, p. 242, 2022.
- RAZALI, N. S. S. ROSMAN, N. H. OTHMAN, I.; HARUN, H.; Effectiveness of banana peels and papaya seeds as alternative coagulants in water treatment. **AIP Conference Proceedings**, 7 mar. 2024. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-lookup/doi/10.1063/5.0194576>.
- SARAVANAKUMAR, R. SATHIYAMOORTHY, E.; RAJKUMAR, S.; LEE, J.; KOTTAISAMY, M.; Synergistic effect of adsorption and photo-catalysis on the removal of hazardous dyes using steam exploded banana fiber derived micro-cellulose. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 258, p. 128970, 2024.
- SIAHAAN, J. SUYASA, I W. B.; DHARMA, I G. B. S.; WIJANA, M. S.; Filtration examination of biofilter made of banana trunk waste due to mitigate microplastics emission from laundry waste water. **International Journal of Multidisciplinary Research and Publications (IJMRAP)**, v. 6, n. 11, p. 115-121, 2024.
- SIJABAT, E. K. NURUDDIN, A.; ADITIAWATI, P.; SUNENDAR P. B. Optimization on the synthesis of bacterial nano cellulose (BNC) from banana peel waste for water filter membrane applications. **Materials Research Express**, v. 7, n. 5, p. 055010, o 2020.
- SRIVASTAVA, K. R.; DIXIT, S.; PAL, D B.; MISHRA, P K.; SRIVASTAVA, P.; SRIVASTAVA, N.; HASHEM, A.; ALQARAWI, A. A.; ABD A. F.; Effect of nanocellulose on mechanical and barrier properties of PVA–banana pseudostem fiber composite films. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, p. 101312, 2021.
- YUSUF, I. FLAGIELLO, F.; WARD, N. I.; ARELLANO-GARCÍA, H.; AVIGNONE-ROSSA, C.; FELIPE-SOTELO, M.; Valorisation of banana peels by hydrothermal carbonisation: Potential use of the hydrochar and liquid by-product for water purification and energy conversion. **Bioresource Technology Reports**, v. 12, p. 100582, 2020.
- ZAMAN, B.; SUTRISNO, E. CAHYANI, F P. RAHARYANI, D M. banana tree as natural biofilter for organic contaminant in wastewater treatment. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 448, n. 1, p. 12031, 2020.

