



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental



PPGC&TAmb
Ciência e Tecnologia Ambiental

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

LUZIDELMA DO NASCIMENTO FREITAS ROCHA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESÍDUOS DE CALDEIRA E
FIBRAS DE COCO DESIDRATADAS COMO SISTEMAS FILTRANTES
PARA EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR**

SÃO LUÍS, MA

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental



PPGC&TAmb
Ciência e Tecnologia Ambiental

LUZIDELMA DO NASCIMENTO FREITAS ROCHA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESÍDUOS DE CALDEIRA E
FIBRAS DE COCO DESIDRATADAS COMO SISTEMAS FILTRANTES
PARA EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS & TECNOLOGIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Maranhão como requisito à obtenção do título de MESTRE.

Orientador(a): Harvey Alexander Villa Vélez

Coorientador(a): Talita da Silva Esposito

Linha de pesquisa: Biotecnologia e Tecnologias Aplicadas ao Meio Ambiente

SÃO LUÍS, MA

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Rocha, Luzidelma do Nascimento Freitas.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESÍDUOS DE CALDEIRA E
FIBRAS DE COCO DESIDRATADAS COMO SISTEMA FILTRANTE PARA
EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR / Luzidelma do
Nascimento Freitas Rocha. - 2025.

43 f.

Coorientador(a) 1: Talita da Silva Esposito.

Orientador(a): Harvey Alexander Villa-vélez.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental/ccet, Universidade Federal
do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Adsorção. 2. Efluentes Industriais. 3.
Sustentabilidade. 4. Economia Circular. 5. Recursos
Hídricos. I. Esposito, Talita da Silva. II. Villa-vélez,
Harvey Alexander. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental



PPGC&TAmb
Ciência e Tecnologia Ambiental

LUZIDELMA DO NASCIMENTO FREITAS ROCHA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESÍDUOS DE CALDEIRA E FIBRAS DE COCO
DESIDRATADAS COMO SISTEMAS FILTRANTES PARA ELFUENTES DE LAVANDERIA
HOSPITALAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS & TECNOLOGIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Maranhão como requisito à obtenção do título de MESTRE.

Aprovada em 27 de março de 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Velez
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof. Dr. José Renato de Oliveira Lima
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Profa. Dra. Ana Lucia Alexandre de Oliveira Zandomeneghi
Universidade Federal do Maranhão - UFMA



AGRADECIMENTOS

A jornada até a conclusão deste trabalho foi repleta de desafios, aprendizados e conquistas, e nada disso teria sido possível sem o apoio e incentivo de pessoas especiais, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

Aos meus pais, **José Robenilson Rocha** e **Liliana Freitas**, por toda a criação, esforço e dedicação para que eu pudesse ter acesso à educação e seguir meus sonhos.

Ao meu irmão, **Jonatas Rodrigo**, meu grande exemplo de força, disciplina e dedicação. Sua trajetória sempre foi uma inspiração para mim, e sou imensamente grata pelo apoio incondicional e pelas palavras de encorajamento ao longo dessa caminhada.

À minha querida avó **Suzana Góes Freitas** (*in memoriam*), que sempre acreditou em mim e me deu forças para enfrentar os desafios da vida. Seu amor e incentivo foram fundamentais para que eu chegasse até aqui, e levo comigo seus ensinamentos e carinho em cada passo que dou. Obrigada por ser minha base e por me ensinar, com amor e resiliência, o valor do conhecimento e da perseverança.

Ao meu companheiro de caminhada, **Gabriel Drummond**, e à sua família, por estarem sempre ao meu lado, celebrando comigo tanto as pequenas quanto as grandes conquistas. Seu apoio inabalável foi essencial durante todo esse percurso.

Às minhas queridas amigas **Manuela Costa** e **Catarina Gomes** por terem me apoiado a iniciar essa jornada. Aos meus amigos do mestrado, **Jennifer Arouche**, **Luís Fernando Corrêa** e **Thomas Malheiros**, pelo companheirismo, suporte e momentos compartilhados ao longo dessa trajetória. Ter vocês ao meu lado tornou essa experiência mais leve e enriquecedora.

Ao **Jefte Luan**, que contribuiu tecnicamente para esta pesquisa com seus ensinamentos sobre o processo de lavagem de roupas hospitalares. Mais do que agregar conhecimento essencial para o desenvolvimento deste estudo, essa experiência me proporcionou a oportunidade de conhecê-lo e levá-



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental



PPGC&TAmb
Ciência e Tecnologia Ambiental

lo comigo como um amigo querido. Sua generosidade e disposição para compartilhar conhecimento foram inestimáveis.

Ao meu orientador e amigo, **Harvey A. Villa Vélez**, por toda paciência, dedicação e por sempre acreditar no meu trabalho. Sua orientação e incentivo foram cruciais para que este estudo se concretizasse, e sou profundamente grata pela oportunidade de aprender com alguém tão comprometido e inspirador.

Aos laboratórios Central Analítica de Química do Departamento de Química/UFMA, Laboratório de Biomateriais Odontologia (BIOMMA) do Departamento de Odontologia/UFMA e Laboratório de Surfactantes do Departamento de Engenharia Química/UFMA pela realização dos ensaios. À Lavare Gestão de Têxteis S/A pelo fornecimento do efluente, resíduos da caldeira e coco desidratado para o estudo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para minha trajetória acadêmica e pessoal, meu muito obrigada. Cada gesto de apoio, cada palavra de incentivo e cada ensinamento foram essenciais para que eu chegasse até aqui.



RESUMO

A crescente preocupação com o impacto ambiental dos efluentes industriais tem impulsionado a busca por soluções eficientes e sustentáveis para o seu tratamento. Neste contexto, o presente estudo avalia a aplicabilidade de resíduos de caldeira e fibras de coco desidratadas como materiais adsorventes para a remoção de poluentes em efluentes de lavanderia hospitalar. O problema central da pesquisa reside na necessidade de alternativas viáveis e de baixo custo para a adsorção de contaminantes, reduzindo a carga poluente antes do descarte no meio ambiente. O objetivo principal foi analisar a eficiência desses resíduos na remoção de turbidez do efluente, bem como caracterizar suas propriedades físico-químicas para determinar seu potencial de adsorção. A metodologia adotada incluiu a caracterização do efluente coletado na estação de tratamento de uma lavanderia hospitalar, seguida de ensaios de adsorção utilizando colunas de filtração preenchidas com os materiais estudados. Foram realizadas análises de pH, turbidez e grupos funcionais presentes nas superfícies dos adsorventes, além da caracterização estrutural por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR). Os resultados indicaram que o resíduo de caldeira apresentou maior eficiência adsortiva, promovendo uma redução de até 96,15% na turbidez do efluente após 60 minutos de filtração, enquanto a fibra de coco desidratada alcançou uma remoção máxima de 44,9%. A análise da superfície dos materiais revelou que o resíduo de caldeira possui maior porosidade e predominância de grupos funcionais ácidos, características que favorecem a adsorção de compostos presentes no efluente. Já a fibra de coco, apesar de apresentar menor capacidade adsortiva, demonstrou potencial para otimização mediante tratamento químico. Conclui-se que a utilização desses resíduos industriais como adsorventes constitui uma alternativa ambientalmente sustentável e economicamente viável para o tratamento de efluentes de lavanderias hospitalares, reduzindo a carga poluente e minimizando impactos ambientais. Além disso, a pesquisa reforça a importância da valorização de resíduos agroindustriais e industriais na formulação de sistemas filtrantes, contribuindo para a economia circular e para o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis e eficientes no setor de saneamento e gestão de efluentes industriais.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Efluentes Industriais, Sustentabilidade, Economia Circular, Recursos Hídricos.



ABSTRACT

The growing concern about the environmental impact of industrial effluents has driven the search for efficient and sustainable solutions for their treatment. In this context, this study evaluates the applicability of boiler residues and dehydrated coconut fibers as adsorbent materials for the removal of pollutants from hospital laundry effluents. The central problem of the research lies in the need for viable and low-cost alternatives for the adsorption of contaminants, reducing the pollutant load before disposal into the environment. The main objective was to analyze the efficiency of these residues in the removal of turbidity from the effluent, as well as to characterize their physicochemical properties to determine their adsorption potential. The methodology adopted included the characterization of the effluent collected at the treatment plant of a hospital laundry, followed by adsorption tests using filtration columns filled with the studied materials. Analyses of pH, turbidity and functional groups present on the surfaces of the adsorbents were performed, in addition to structural characterization by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results indicated that the boiler residue presented greater adsorptive efficiency, promoting a reduction of up to 96.15% in the effluent turbidity after 60 minutes of filtration, while the dehydrated coconut fiber achieved a maximum removal of 44.9%. The analysis of the surface of the materials revealed that the boiler residue has greater porosity and predominance of acidic functional groups, characteristics that favor the adsorption of compounds present in the effluent. Coconut fiber, despite presenting lower adsorptive capacity, demonstrated potential for optimization through chemical treatment. It is concluded that the use of these industrial residues as adsorbents constitutes an environmentally sustainable and economically viable alternative for the treatment of hospital laundry effluents, reducing the pollutant load and minimizing environmental impacts. Furthermore, the research reinforces the importance of valuing agro-industrial and industrial waste in the formulation of filtering systems, contributing to the circular economy and the development of more accessible and efficient technologies in the sanitation and industrial effluent management sector.

KEYWORD: Adsorption. Industrial Effluents. Sustainability. Circular Economy. Water Resources.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental



PPGC&TAmb
Ciência e Tecnologia Ambiental

LISTA DE ABREVIATURAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
OD	Oxigênio Dissolvido
POA's	Processos Oxidativos Avançados
SEMA/MA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Maranhão
SST	Sólidos em Suspensão Totais



SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1.	Efluentes em lavanderias industriais	12
2.2.	Padrões legais para lançamento de efluentes em corpos hídricos.....	13
2.3.	Tratamento de efluentes	13
2.4.	Coco verde.....	14
2.4.1.	<i>Processo de adsorção</i>	16
3.	JUSTIFICATIVA	17
4.	OBJETIVOS	17
4.1.	Geral.....	17
4.2.	Específicos	17
5.	REFERÊNCIAS.....	18
6.	APRESENTAÇÃO DO ARTIGO.....	23
7.	CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO	42
7.1.	Importância Social.....	42
7.2.	Importância Econômica.....	42
7.3.	Importância Ambiental.....	43



1. INTRODUÇÃO

A história é marcada pelo desenvolvimento da humanidade em diversos âmbitos, social, político e econômico. Paralelo a este, vemos o crescimento de indústrias de diferentes ramos, que se utilizam cada vez mais dos recursos naturais em suas atividades e acabam gerando significativas alterações na qualidade do solo (Araújo; Oliveira, 2019), ar (Ceretta; Sari; Da Cruz Ceretta, 2020) e água (Araújo *et al.*, 2016) através da liberação de poluentes ou até mesmo consumo excessivo (COSTA, 2008).

A água pode ser considerada como recurso natural mais valioso, já que é essencial à vida de todos os seres vivos, a qual depende tanto da quantidade quanto da qualidade das águas das bacias hidrográficas (Corona *et al.*, 2020). Sua escassez tem sido um assunto bastante discutido a nível mundial. O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos emitido em 2020 (UNESCO, 2020), coloca que o consumo mundial de água apresentou um aumento de seis vezes nos últimos cem anos, e continua em crescimento constante, taxa de 1% ao ano, resultado do aumento populacional, desenvolvimento econômico e das mudanças nos padrões de consumo. O que aumenta a preocupação dos grandes centros urbanos sobre o gerenciamento e planejamento do uso dos recursos hídricos associados ao esgotamento de águas superficiais e subterrâneas (Trindade, 2019).

Dentre os diversos segmentos industriais com alto consumo de água estão as lavanderias industriais. Estima-se que 10% de toda água consumida no meio urbano, seja destinada a operações de lavagem de roupas (Buss *et al.*, 2015). As lavanderias têxteis são indústrias que necessitam de muita água para seu processo principal (Lima *et al.*, 2016), conseqüentemente, geram grandes volumes de resíduos líquidos. Quando em escala industrial causam mais preocupação, uma vez que tratados de forma incorreta, seus efluentes geram sérios problemas ambientais (Zagonel, 2015).

A água utilizada em processos de lavagem das roupas contém alta concentração de produtos químicos, como sódio, fosfato de boro, surfactantes, amônia e nitrogênio (Souza *et al.*, 2016), sendo está uma atividade considerada poluidora caso seus efluentes não recebam tratamento adequado.

Esses resíduos líquidos, na maioria dos casos, apresentam elevado teor de sólidos suspensos, pH altamente variável, alta temperatura e grandes concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO) (Zagonel, 2015), ou seja, não se apresentam dentro dos padrões de lançamento em corpos hídricos, dispostos na resolução N°430 do CONAMA (BRASIL, 2011).



A fim de atender aos regulamentos técnicos específicos e legislação, os efluentes passam por processos de tratamento antes de serem lançados no meio ambiente. Para tanto, normalmente, utilizam-se de tratamentos do tipo físico-químico e biológico. Contudo, os métodos convencionais de tratamento, em alguns casos, resultam em pouca remoção de cor e matéria orgânica, fazendo necessária a aplicação de métodos avançados de tratamento. Exemplos destes são os Processos Oxidativos Avançados (POA's), processos de membrana, processos eletroquímicos e adsorção com carbono ativado (Macêdo, 2022; Xavier; Quadros; Da Silva, 2022).

No presente trabalho, apresentaremos o material utilizado como adsorvente discutindo sobre seus aspectos estruturais, porosidade, grupos funcionais predominantes, entre outras características. E verificaremos seu desempenho na remoção de turbidez de um efluente.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Efluentes em lavanderias industriais

O setor de lavanderias industriais tem crescido significativamente nos últimos. Segundo Rampelotto (2020), este setor apresenta crescimento de 25% ao ano, com uma estimativa de 9.500 lavanderias em atividade no país, sendo 2.100 do segmento industrial (Rampelotto, 2020).

Nos processos das lavanderias industriais são realizadas diversas atividades, como por exemplo: enxágues iniciais e intermediários, umectação, pré-lavagem, lavagem, alvejamento, acidulação, amaciamento, desengomagem, secagem, centrifugação, passamento, embalagem, conserto da peça de roupa e acabamento (Souza *et al.*, 2016).

As lavanderias industriais são uma das maiores consumidoras de água, conseqüentemente geram quantidades significativas de efluentes líquidos, sendo responsáveis por aproximadamente 10% da geração de efluentes municipais (Marchesan, 2022).

Tais efluentes apresentam forte coloração devido à presença de corantes que não fixam adequadamente às fibras, compostos orgânicos como aminas, dextrinas, gomas, graxas, pectinas, álcoois, ácido acético, sabões e detergentes, além de compostos inorgânicos como hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto que alteram os valores de DQO, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos em Suspensão Totais (SST) e reduzem concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD), interferindo a biota aquática (Queiroz *et al.*, 2016). Outro problema atrelado a essa atividade é a eutrofização, que causa a morte dos seres aeróbios, favorecendo o aumento da quantidade de bactérias



anaeróbias no ambiente aquático intensificando sua degradação através da produção de compostos tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente como, metano, ácido sulfúrico e amônia (Pimentel; Gonçalves; Rezende, 2018).

A fim de inibir práticas poluidoras, o país estabelece normas e regulamentos para o controle e tratamento de efluentes, desta forma, antes de ser descartado, os resíduos da indústria precisam passar por um rigoroso processo de tratamento (Cunha *et al.*, 2019).

2.2. Padrões legais para lançamento de efluentes em corpos hídricos

Por se tratar de uma atividade potencialmente poluidora, a instalação de uma lavanderia requer licenciamento ambiental por parte do órgão ambiental competente (Foppa, 2013). Segundo o Portal Nacional de Licenciamento Ambiental, no estado do Maranhão, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA/MA) é o órgão responsável pelo licenciamento ambiental e pela coordenação do Sistema Estadual de Meio Ambiente do Maranhão (BRASIL, 2018).

As características físicas, químicas e biológicas da água são descritas como parâmetros de qualidade da água. O padrão para lançamento de efluente está baseado na Resolução do CONAMA nº 430/2011 que versa sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, a qual complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Girardi, 2019). Em âmbito estadual a Resolução CONERH nº 117 de 09 de setembro de 2021, dispõe sobre critérios técnicos para outorga de lançamento de efluentes tratados em rios intermitentes e efêmeros de domínio do estado do Maranhão.

Alguns parâmetros relevantes para emissões de efluentes são, pH entre 5 a 9; temperatura inferior a 40°C; materiais sedimentáveis até 1 mgL⁻¹; ausência de materiais flutuantes; e Demanda Bioquímica de Oxigênio com remoção de 60% de DBO. É válido destacar que a conformidade dos padrões de lançamento além de evitar multas, ou até mesmo embargo ou interdição do estabelecimento, previstos na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 2011), é uma forma de diminuir impactos ambientais decorrentes de atividades antrópicas.

2.3. Tratamento de efluentes

O tratamento de efluentes consiste basicamente na aplicação de técnicas para atingir eficiência de remoção de poluentes e reduzir custos operacionais com confiabilidade técnica (Souza *et al.*, 2016). Diferentes métodos de tratamento são utilizados para modificar as águas residuais na indústria de lavagem antes de serem lançadas. A complexidade do processo pode variar de acordo com o



tamanho da instalação, volume de efluente gerado, qualidade da água fornecida, produtos químicos consumidos, tipo de material lavado e as especificidades de requisitos nacionais e locais da legislação (Rampelotto, 2020).

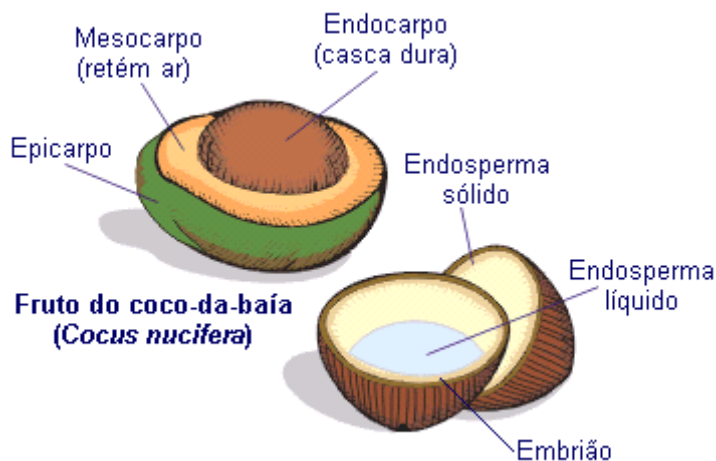
Os processos de tratamento mais comuns são os primários, que permitem a remoção de sólidos em suspensão, empregando processo físico-químico como coagulação-floculação (Buss *et al.*, 2015). Os tratamentos secundários envolvem processos biológicos, como reatores biológicos (Marcelino, 2013) ou sistemas de lodo ativado (Ribeiro; Corrêa, 2013), e oxidação de matéria orgânica, como em processos de foto-oxidação catalítica (Lenhard *et al.*, 2014) e reação de Fenton (Campos; Brito, 2014). Um outro processo de tratamento físico-químico que vem recebendo atenção é a filtração por adsorção (Rampelotto, 2020).

A adsorção consiste na adesão de moléculas em uma superfície adsorvente. Podendo sofrer influência da temperatura, tempo de detenção hidráulica, pH do meio, concentração de adsorvente e granulometria do mesmo (Almagro; Rocha, 2015).

Busca-se atualmente métodos de aplicação de baixo custo como alternativa ao tradicional adsorvente utilizado, o carvão ativado. Estudos recentes apontam a biomassa extraída do coco verde como um material substituto eficiente na adsorção de contaminantes em efluentes (Melani; Ströher; Ströher, 2021).

2.4. Coco verde

A espécie *Cocos nucifera L.*, pertencente à família *Arecaceae (Palmae)*, compreende diversas variedades, sendo as mais relevantes a *Cocos nucifera var. typica*, conhecida no Brasil como “Gigante”, *Cocos nucifera var. nana*, chamada de “Anã”, além do híbrido resultante do cruzamento entre essas espécies. O fruto do coqueiro, conhecido como coco verde, ele é constituído da seguinte forma: epicarpo ou exocarpo, parte externa, seguido de um mesocarpo, região fibrosa, endocarpo, região rígida, copra, polpa, embrião e água de coco, como pode ser observado na Figura 1 (Miguel, 2021; SEBRAE, 2016).

Figura 1 - Estrutura do coco verde

Fonte: EucaBras, 2023.

A produção mundial de coco em 2021 foi estimada de 62,9 milhões de toneladas, com maior concentração em três países, Indonésia, Filipinas e Índia, com 74,1% da produção (Brainer, 2021; Medeiros, 2023). O Brasil é o quinto maior produtor, sua faixa litorânea do Nordeste e parte da região Norte concentra cerca de 70% da produção nacional (Medeiros, 2023; Silva, 2021).

Uma questão de grande preocupação nesse setor está relacionada aos resíduos produzidos. A casca, que constitui cerca de 80 a 85% do peso total do fruto, é difícil de decomposição, no mínimo oito anos para biodegradação completa, e acaba não possuindo valor comercial, sendo frequentemente descartada em aterros sanitários nos grandes centros urbanos (Miguel, 2021).

Em contrapartida, esse resíduo de coco apresenta grande potencial para diferentes aplicações no mercado, como uso em confecções de pisos, fios, cordas, entre outros, sendo também utilizado em materiais compósitos, desde que sua superfície passe por modificação química, uma vez que possui baixo teor de celulose e alto teor de lignina e hemicelulose (Moreira; Seo, 2020). Outra característica desse material é seu elevado teor de carbono, o que favorece a obtenção de carvão, que pode ser usado como agente adsorvente em diversas aplicações (Silva *et al.*, 2021).

A fibra de coco apresenta poder calorífico superior (PCS) em torno de 5.447,38 kcal/kg, sendo composto por 48,23% de carbono; 5,23% de hidrogênio; 33,19% de oxigênio; 2,98% de nitrogênio; 0,12% de enxofre e 10,25% de outros elementos (Silva *et al.*, 2021).

As características da superfície da fibra são importantes para a eficiência na adsorção. Quando tratada quimicamente, a fibra de coco melhora sua capacidade adsorvente removendo lignina,



hemicelulose e outros compostos da fibra de coco, deixando a celulose em maior quantidade e sua estrutura porosa melhorada (Nguyet *et al.*, 2020). Assim, a fibra de coco pode ser usada em processos de adsorção tanto em sua forma de carvão ativado, quanto em sua forma de fibra quimicamente tratada.

A fibra de coco tem sido empregada em várias aplicações relacionadas ao processo de adsorção, sendo amplamente utilizada no tratamento de água. Ela desempenha um papel crucial na remoção de metais pesados, agrotóxicos, hidrocarbonetos derivados do petróleo, matéria orgânica e outros contaminantes. Além de ser utilizada como material principal para o processo de adsorção, a fibra de coco também é empregada para aumentar a capacidade de adsorção de outros materiais, potencializando sua eficácia (Miguel, 2021).

2.4.1. Processo de adsorção

A adsorção é um fenômeno físico-químico de retirada de substâncias indesejadas de determinado meio através de um sólido adsorvente (Melani; Ströher; Ströher, 2021).

Existem dois tipos de adsorção, a adsorção química (quimissorção) que envolve reações químicas entre o adsorbato e o adsorvente através da transferência de elétrons. Já a adsorção física (fisissorção) que envolve forças de Van der Waals, ocorrendo em qualquer sistema sólido-gás à mesma temperatura e são compatíveis ao efeito de liquefação e condensação dos gases (Silva *et al.*, 2021).

O tipo de adsorvente utilizado no processo de adsorção pode afetar a relação adsorbato-adsorvente, bem como o seu modo de preparo e ativação, que vai condicionar os tipos de grupos funcionais presentes na superfície (Morais, 2014). No que diz respeito a tratamento de efluentes, a adsorção é o método de maior aplicação industrial atualmente, isso se deve ao seu baixo custo, facilidade de operação, flexibilidade e simplicidade do processo, quando comparada a outras técnicas (Silva, 2021).

Estudos apontam resultados relevantes no uso de bioadsorventes à base coco na remoção de metais de água (Nascimento, 2021), remoção de corantes da água (Freitas; Souza júnior, 2022), remoção de ânions inorgânicos de água (Anirudhan; Rijith; Divya, 2009), remoção de compostos fenólicos poluentes da água (Nogueira *et al.*, 2007), remoção de radionuclídeos da água (Ferreira, 2014), entre outras aplicações (Gonçalves *et al.*, 2019; Miguel, 2021), demonstrando a versatilidade do material (Bhatnagar *et al.*, 2010).



3. JUSTIFICATIVA

Com o crescimento industrial nas últimas décadas houve o aumento de resíduos produzidos, estes, por sua vez, se não tratados e dispostos corretamente, podem causar sérios problemas ambientais (Vaz *et al.*, 2010).

As lavanderias industriais consomem grande volume de água, paralelo a isso, o aumento do custo da água tratada, bem como os rigorosos critérios de descarte de efluentes têm sido um grande incentivo para o reaproveitamento dos rejeitos líquidos, tornado um grande desafio o tratamento destes (Porto; Schoenhals, 2013). Políticas e regulamentos ambientais sofreram alterações tanto nacional, quanto internacionalmente, principalmente nas últimas três décadas. Os valores limites dos parâmetros controlados foram reajustados a fim de proteger o meio ambiente (Porto; Schoenhals, 2013). Por isso, é importante ficar atento às mudanças de legislação, para garantir o cumprimento das normas corretamente.

A indústria têxtil possui uma variedade de matéria prima e processos de produção, o que dificulta a caracterização dos efluentes. Desta forma, se faz necessário conhecer as características dos efluentes individuais para identificar os agentes poluidores e propor um sistema de tratamento eficaz e viável, tanto para a água de lançamento em corpos d'água, quanto para a água de reuso.

4. OBJETIVOS

4.1. Geral

Avaliar o potencial do uso das fibras e carvão provenientes do coco verde (*Cocos nucifera L.*) como sistema de adsorção no tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial, visando a remoção eficiente de poluentes presentes nos efluentes.

4.2. Específicos

- ✓ Caracterizar os efluentes líquidos da lavanderia industrial em estudo quanto à composição química, concentração de poluentes e características físico-químicas;
- ✓ Elaborar um sistema de filtros usando coco desidratado e carvão de coco queimado em caldeira para fins de tratamento de efluentes;
- ✓ Caracterizar os sistemas elaborados por meio das suas propriedades físicas: estrutura, densidade do leito, porosidade efetiva e compactação;



- ✓ Avaliar o poder de adsorção em escala de laboratório do sistema de filtros desenhado.

5. REFERÊNCIAS

ALMAGRO, A.; ROCHA, S., 2015, **Aplicação de bioadsorvente de casca de coco verde para o tratamento de efluentes oleosos**. 19-22.

ANIRUDHAN, T. S.; RIJITH, S.; DIVYA, L. Preparation and application of a novel functionalized coconut coir pith as a recyclable adsorbent for phosphate removal. **Separation Science and Technology**, 44, n. 12, p. 2774-2796, 2009.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24 ed. Washington: American Public Health Association, 2023. 1516 p.

ARAÚJO, K. S. d.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C. *et al.* Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Revista Ambiente & Água**, 11, p. 387-401, 2016.

BHATNAGAR, A.; VILAR, V. J.; BOTELHO, C. M.; BOAVENTURA, R. A. Coconut-based biosorbents for water treatment—a review of the recent literature. **Advances in colloid and interface science**, 160, n. 1-2, p. 1-15, 2010.

BRAINER, M. S. d. C. P. **Coco: produção e mercado**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. . REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, P. E. Brasília, DF: Diário Oficial da União 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, P. E. Brasília, DF: Diário Oficial da União 2011.

BRASIL. **Procedimentos de Licenciamento Ambiental do Brasil**. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Brasília, p. 22. 2018.

BUSS, M. V.; RIBEIRO, E. F.; HOMRICH SCHNEIDER, I. A.; SALOMÉ DOS SANTOS MENEZES, J. C. TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE DIFERENTES PROCESSOS DE TRATAMENTO. **Revista**



de Engenharia Civil IMED; v. 2, n. 1 (2015): Janeiro-Abril DO - 10.18256/2358-6508/rec-imed.v2n1p2-10, 05/13/ 2015.

CAMPOS, V. M.; BRITO, N. N. d. Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulação/floculação e Fenton. **Revista de Química Industrial**, 82, n. 743, p. 11-17, 2014.

CERETTA, P. S.; SARI, J. F.; DA CRUZ CERETTA, F. C. Relação entre emissões de CO₂, crescimento econômico e energia renovável. **Desenvolvimento em Questão**, 18, n. 50, p. 16, 2020.

CORONA, R. R. B.; OLIVEIRA, P. B. d.; TAVEIRA, S. D.; SILVA, M. G. d. F. M. d. FILTRAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE LAVANDEIRA: APLICAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFITE COMO MEIO FILTRANTE. p. 23, Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2022/03/filtracao-de-agua-residuaria-de-lavanderia-aplicacao-de-oxido-de-grafite-como-meio-filtrante.pdf>.

COSTA, A. F. d. S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife.

CUNHA, A. L. X.; NETO, L. M. P.; DE ARRUDA, V. C. M.; DE PAULO SILVA, V. *et al.* Tratamento físico-químicos de efluente têxtil utilizando Sulfato de Alumínio, Carvão Ativado e Moringa Oleifera. **Revista Geama**, 5, n. 3, p. 47-55, 2019.

FERREIRA, R. V. d. P. **Aplicação de biossorventes no tratamento de rejeitos radioativos líquidos**. 2014. 105 f. Tese (Doutorado) - Área de Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FIGUEREDO, N. A.; COSTA, L. M. d.; SIEBENEICHLER, E. A.; PASSOS, R. R. *et al.* Caracterização química e mineralógica de carvões vegetais coletados em diferentes ambientes. **Revista Árvore**, 38, 2014.

FOPPA, T. Legislação ambiental para lavanderias. . **Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas**

Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/sbrrt/legislacao-ambiental-para-lavanderias,aa4cc44459f82810VgnVCM100000d701210aRCRD>.

FREITAS, S. d. S.; SOUZA JÚNIOR, A. A. d. Remoção de corantes têxteis de meio aquoso por adsorção em fibra de coco: Removal of textile dyes of aqueous solution by adsorption in coconut fiber. **Brazilian Journal of Development**, 8, n. 12, p. 80107-80126, 2022.



GIRARDI, R. Parâmetros de qualidade de água de rios e efluentes presentes em monitoramentos não sistemáticos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 16, n. 2019, 2019.

GONÇALVES, M. F. S.; DE BRITO BONAMONE, M.; LIMA, C. V. H.; BARBOSA, F. B. M. H. Logística reversa do resíduo de coco verde. **Revista LOGS: Logística e Operações Globais Sustentáveis**, 1, n. 1, 2019.

LENHARD, D.; TAVARES, C.; DOS SANTOS, A.; VOLPE, A., 2014, **FOTO-OXIDAÇÃO CATALÍTICA COM DIÓXIDO DE TITÂNIO APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS EM ESCALA SEMI-PILOTO: AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE COR, DA MATÉRIA ORGÂNICA E DA TOXICIDADE.**

LIMA, L. R. d.; SAMPAIO, Y. d. S. B.; FREITAS, M. A. L. d.; LAGIOIA, U. C. T. Um estudo inferencial dos custos ambientais e das estações de tratamento de água nas lavanderias do polo de confecções do agreste de Pernambuco. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, 11, n. 3, p. 16, 2016.

MACÊDO, J. d. S. **Avaliação do uso de água e geração de efluentes no processo de beneficiamento de jeans: estudo de caso lavanderias industriais de Toritama/PE.** 2022. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco Recife.

MARCELINO, D. M. S. **Avaliação da remoção de cor, matéria orgânica e sulfato de efluente têxtil através de reatores biológicos sequenciais.** 2013. 70 f. Dissertação (Mstrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.

MARCHESAN, L. **Tratamento de efluentes de lavanderia pela técnica de eletrocoagulação-flotação visando o reuso.** 2022. 58 f. Monografia (Bacharel) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

MEDEIROS, M. d. B. C. L. **Fisiologia e produção do coqueiro (Cocos nucifera, L.) submetido a irrigação e fertirrigação no Nordeste Paraense.** 2023. 122 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1936>. Acesso em: 08 de março.

MELANI, L. B.; STRÖHER, G. R.; STRÖHER, G. L. Estudo comparativo das Isotermas de Langmuir e Freundlich em carvão de casca de coco verde com carvão comercial ativado. **Brazilian Journal of Development**, 7, n. 3, p. 22840-22851, 2021.



MIGUEL, J. G. **O uso da fibra de coco como adsorvente de metais pesados: uma revisão.** 2021. 58 f. Monografia (Bacharel) - Tecnologia em Gestão Ambiental Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa.

MORAIS, E. D. d. **Produção do carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (cocosnuciferalinn) utilizando H₃PO₄, CH₃COONa e KOH como ativantes.** 2014. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/22732/1/EveraldoDantasDeMoraes_DISSERT.pdf.

MOREIRA, T. M.; SEO, E. S. M. Caracterização e utilização de fibras de coco como bioadsorvente na recuperação de corpos hídricos contaminados por derramamento de derivados do petróleo. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, 3, n. 4, p. 3771-3781, 2020.

NASCIMENTO, R. d. S. **Avaliação da eficiência de bioadsorventes de fibra de coco na remoção do metal cobre em efluentes.** 2021. 54 f. Monografia (Bacharel) - Coordenação de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

NGUYET, P. N.; HATA, Y.; MAHARJAN, N.; WATARI, T. *et al.* Adsorption of colour from dye wastewater effluent of a down-flow hanging sponge reactor on purified coconut fibre. **Environmental technology**, 41, n. 10, p. 1337-1346, 2020.

NOGUEIRA, M. I. C.; DE SOUSA OLIVEIRA, M.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, I. B.; BUARQUE, H. L. B. *et al.* ADSORÇÃO DE FENOL E NITROFENÓIS EM SOLUÇÃO AQUOSA USANDO BAGAÇO DE COCO COMO ADSORVENTE. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, 7, n. 1, p. 23-27, 2007.

PIMENTEL, R. G.; GONÇALVES, F. D.; REZENDE, L. C. S. H. Utilização do bagaço de cana de açúcar como bioadsorvente no tratamento de efluentes de lavanderias industriais. **IX Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica**, p. 1-6, 2018.

PORTO, A. E. B.; SCHOENHALS, M. Tratamento de efluentes, reúso de água e legislação aplicada em lavanderia têxtil industrial. **Revista Engenharia Ambiental-Espírito Santo do Pinhal**, 10, n. 2, p. 068-080, 2013.

QUEIROZ, M. T. A.; LIMA, L. d.; ALVIM, L. B.; LEÃO, M. *et al.* Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, 8, n. 15, p. 114-135, 2016.



RAMPELOTTO, G. **Tratamento de águas de uma lavanderia industrial por flotação-filtração.** 2020. 130 f. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

RIBEIRO, C. P. B.; CORRÊA, M. d. F. **Avaliação do sistema de lodo ativado de uma lavanderia industrial através da caracterização físico-química e microbiológica.** 2013. 73 f. Monografia (Bacharel) - Departamento Acadêmico de Química e Biologia Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

SEBRAE. O cultivo e o mercado do coco verde. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde,3aba9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 27 de maio.

SILVA, A. A. d. **Avaliação da fibra de côco verde in natura (Coco nucifera Linn.) como um adsorvente alternativo para remoção do corante sintético verde malaquita.** 2021. 66 f. Monografia (Bacharel) - Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas Maceió.

SILVA, A. S.; PEDROZA, M. M.; MARTINEZ, M. S.; DE OLIVEIRA, L. R. A. APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS DA CASTANHA-DO-BRASIL ATRAVÉS DO TRATAMENTO PIROLÍTICO EM REATOR DE LEITO FIXO. **Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, p. 125-138, 2021.

SOUZA, M. C.; VARGAS, A.; SAUERESSIG, G. G.; LUCHESE, J. *et al.* Análise das práticas de reuso de água residual: estudo de casos em lavanderias industriais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 20, n. 1, p. 497-514, 2016.

SOUZA, R. C.; SILVA, T. L. d.; SANTOS, A. Z. d.; TAVARES, C. R. G. Tratamento de efluentes de lavanderia hospitalar por processo oxidativo avançado: UV/H₂O₂. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 24, 2019.

TRINDADE, M. **Gerenciamento de água proveniente do efluente de uma lavanderia hospitalar.** 2019. 59 f. Monografia (Bacharel) - Coordenação de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020: água e mudança climática, resumo executivo.** Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura, p. 11. 2020.



VAZ, L. G. d. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A. d. *et al.* Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, 35, p. 45-54, 2010.

XAVIER, M. d. V. S.; QUADROS, H. C.; DA SILVA, M. S. S. Parâmetros de potabilidade da água para o consumo humano: uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, 11, n. 1, p. e42511125118-e42511125118, 2022.

ZAGONEL, J. T. Avaliação da eficiência da estação de tratamento de águas residuárias de uma lavanderia de jeans. **Revista de Engenharia Civil IMED**, 2, n. 3, p. 5-14, 2015.

6. APRESENTAÇÃO DO ARTIGO

TÍTULO DO ARTIGO: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESÍDUOS DE CALDEIRA E FIBRAS DE COCO DESIDRATADAS COMO SISTEMAS FILTRANTES PARA EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR
ARTIGO SUBMETIDO: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESÍDUOS DE CALDEIRA E FIBRAS DE COCO DESIDRATADAS COMO SISTEMAS FILTRANTES PARA EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR

NOME DA REVISTA: Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA

QUALIS DA CAPES PARA A ÁREA DE GEOCIÊNCIAS: A3

FATOR DE IMPACTO DA REVISTA:

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DA DISSERTAÇÃO ATRELADOS AO ARTIGO: Avaliar a eficácia do resíduo de caldeira e fibras de coco desidratadas como materiais adsorventes para tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial.



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESÍDUOS DE CALDEIRA E FIBRAS DE COCO DESIDRATADAS COMO SISTEMAS FILTRANTES PARA EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR

Luzidelma do Nascimento Freitas Rocha ¹

Jennifer Arouche Silva ²

Paulo Henrique da Silva Leite Coelho ³

Diana Maria Cano Higuaita ⁴

Romildo Martins Sampaio ⁵

Harvey Alexander Villa Vélez ⁶

RESUMO

Objetivo: Este estudo investiga a reutilização de resíduos de caldeira e fibras de coco desidratadas como material adsorvente para a redução da turbidez de efluentes de lavanderias hospitalares, visando contribuir para a sustentabilidade e a economia circular.

Referencial Teórico: A pesquisa baseia-se nos princípios do desenvolvimento sustentável e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 (Água Potável e Saneamento), 7 (Energia Acessível e Limpa) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis). Além disso, explora tecnologias de tratamento de efluentes e a valorização de resíduos industriais para mitigação ambiental.

Método: O estudo foi realizado em uma lavanderia industrial hospitalar em São Luís – MA. O efluente coletado foi caracterizado por análises físico-químicas e submetido a dois sistemas de filtração contendo resíduos de caldeira e fibras de coco desidratadas. Os materiais adsorventes foram analisados por espectroscopia FTIR, número de iodo e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Resultados e Discussão: O resíduo de caldeira demonstrou maior eficiência na redução da turbidez do efluente, atingindo uma remoção de 96,15% após 60 minutos de filtração. Já a fibra de coco apresentou menor eficiência, com redução máxima de 44,9% da turbidez. Apesar da capacidade adsorvente inferior ao carvão ativado comercial, ambos os materiais demonstraram viabilidade para uso parcial na remoção de turbidez.

Implicações da Pesquisa: O estudo apresenta uma alternativa de baixo custo para o tratamento de efluentes, promovendo a reutilização de resíduos industriais e contribuindo para práticas de economia circular.

Originalidade/Valor: A pesquisa propõe uma abordagem inovadora ao transformar resíduos de caldeira em um insumo útil para o tratamento de águas, alinhando-se aos ODS e reduzindo impactos ambientais.

Palavras-chave: Adsorção, Efluentes Industriais, Sustentabilidade, Economia Circular, Recursos Hídricos.

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil. E-mail: luzidelma.rocha@discente.ufma.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-6339-6561>

² Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil. E-mail: jennifer.arouche@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4910-3548>

³ Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil. E-mail: coelho.paulo@ufma.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2669-7929>

⁴ Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil. E-mail: dianacanohiguaita@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3948-7317>

⁵ Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil. E-mail: romildo.sampaio@ufma.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1549-0826>

⁶ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil. E-mail: harvey.villa@ufma.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2394-4939>



EVALUATION OF THE POTENTIAL OF BOILER WASTE AND DEHYDRATED COCONUT FIBERS AS FILTERING SYSTEMS FOR HOSPITAL LAUNDRY EFFLUENTS

ABSTRACT

Objective: The present study evaluated the effectiveness of boiler residue and coconut fiber as adsorbent materials for the treatment of effluents from an industrial hospital laundry.

Theoretical Framework: The research addresses the environmental impacts caused by the inadequate disposal of industrial laundry effluents, highlighting the need for accessible and efficient technologies for their treatment. Adsorption is presented as a promising alternative, considering the potential of residual materials for contaminant removal.

Method: The study was carried out in a hospital laundry located in São Luís, MA. The collected effluent was characterized by physical-chemical analysis and submitted to a filtration system containing boiler residue and coconut fibers. The adsorbent materials were evaluated for their adsorption capacity by means of FTIR spectroscopy, iodine number and scanning electron microscopy (SEM).

Results and Discussion: The boiler residue demonstrated greater efficiency in reducing effluent turbidity, reaching a removal of 96.15% after 60 minutes of filtration. Coconut fiber, on the other hand, showed lower efficiency, with a maximum reduction of 44.9% in turbidity. Despite the lower adsorbent capacity than commercial activated carbon, both materials demonstrated viability for partial use in turbidity removal.

Research Implications: The study suggests the reuse of industrial waste as a sustainable and economically viable alternative for the treatment of liquid effluents, promoting circular economy practices.

Originality/Value: The research contributes to the valorization of boiler waste and coconut fiber, demonstrating their potential as adsorbents in filtration processes, reducing environmental impacts and adding value to discarded materials.

Keywords: Adsorption, Industrial Effluents, Sustainability, Circular Economy, Water Resources.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RESIDUOS DE CALDERA Y FIBRAS DE COCO DESHIDRATADAS COMO SISTEMAS DE FILTRACIÓN PARA EFLUENTES DE LAVANDERÍA HOSPITALARIA

RESUMEN

Objetivo: O presente estudo avaliou a eficácia do resíduo de caldeira proveniente da queima de coco e da fibra de coco como materiais adsorventes para o tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial hospitalar.

Marco Teórico: La investigación aborda los impactos ambientales ocasionados por la disposición inadecuada de efluentes de lavanderías industriales, destacando la necesidad de tecnologías accesibles y eficientes para su tratamiento. La adsorción se presenta como una alternativa prometedora, considerando el potencial de los materiales residuales para la eliminación de contaminantes.

Método: El estudio se realizó en una lavandería hospitalaria ubicada en São Luís – MA. El efluente colectado fue caracterizado mediante análisis físico-químico y sometido a un sistema de filtración conteniendo residuo de caldera y fibra de coco. Los materiales adsorbentes fueron evaluados en cuanto a su capacidad de adsorción mediante espectroscopia FTIR, número de yodo y microscopía electrónica de barrido (SEM).

Resultados y discusión: El residuo de caldera demostró mayor eficiencia en la reducción de la turbidez del efluente, alcanzando una remoción del 96,15% después de 60 minutos de filtración. La fibra de coco, por otro lado, mostró una menor eficiencia, con una reducción máxima del 44,9% en la turbidez. A pesar de la menor capacidad adsorbente que el carbón activado comercial, ambos materiales demostraron viabilidad para su uso parcial en la eliminación de la turbidez.

Implicaciones de la investigación: El estudio propone la reutilización de residuos industriales como una alternativa sostenible y económicamente viable para el tratamiento de efluentes líquidos, promoviendo prácticas de economía circular.

Originalidad/Valor: La investigación contribuye a la valorización de los residuos de calderas y de la fibra de coco, demostrando su potencial como adsorbentes en procesos de filtración, reduciendo los impactos ambientales y agregando valor a los materiales descartados.



Palabras clave: Adsorción, Efluentes Industriales, Sostenibilidad, Economía Circular, Recursos Hídricos.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUÇÃO

O setor de lavanderias industriais tem crescido significativamente nos últimos anos. Segundo Rampelotto (2020), este setor apresenta crescimento de 25% ao ano, com uma estimativa de 9.500 lavanderias em atividade no país, sendo 2.100 do segmento industrial. Nos processos das lavanderias industriais são realizadas diversas atividades, como por exemplo: enxágues iniciais e intermediários, umectação, pré-lavagem, lavagem, alveamento, acidulação, amaciamento, desengomagem, secagem, centrifugação, passamento, embalagem, conserto da peça de roupa e acabamento (Souza et al., 2016; Souza et al., 2019).

As lavanderias industriais são uma das maiores consumidoras de água, consequentemente geram quantidades significativas de efluentes líquidos, sendo responsáveis por aproximadamente 10% da geração de efluentes municipais (Melián et al., 2023). Tais efluentes apresentam forte coloração devido à presença de corantes que não fixam adequadamente às fibras, compostos orgânicos como aminas, dextrinas, gomas, graxas, pectinas, álcoois, ácido acético, sabões e detergentes, além de compostos inorgânicos como hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto que alteram os valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos em Suspensão Totais (SST) e reduzem concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD), interferindo a biota aquática (Queiroz et al., 2016). Outro problema atrelado a essa atividade é a eutrofização, que causa a morte dos seres aeróbios, favorecendo o aumento da quantidade de bactérias anaeróbias no ambiente aquático intensificando sua degradação através da produção de compostos tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente como, metano, ácido sulfúrico e amônia (Zoroufchi Benis et al., 2021).

A fim de inibir práticas poluidoras, são estabelecidas normas e regulamentos para o controle e tratamento de efluentes com a finalidade de que os resíduos da indústria passem por um rigoroso processo de tratamento antes de serem devolvidos ao meio ambiente ou sistemas de captação de efluentes (Cunha et al., 2019).

O tratamento de efluentes consiste basicamente na aplicação de técnicas para atingir eficiência de remoção de poluentes e reduzir custos operacionais com confiabilidade técnica (Souza et al., 2019). Diferentes métodos de tratamento são utilizados para modificar as águas



residuais na indústria de lavagem antes de serem lançadas. A complexidade do processo pode variar de acordo com o tamanho da instalação, volume de efluente gerado, qualidade da água fornecida, produtos químicos consumidos, tipo de material lavado e as especificidades de requisitos nacionais e locais da legislação (Rampelotto, 2020).

Os processos de tratamento aplicados em efluentes industriais podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos. O tratamento físico, ou tratamento primário, consiste na utilização de fenômenos físicos para retirada de partículas como sólidos grosseiros, sólidos suspensos e separação de líquidos imiscíveis. As operações unitárias envolvidas nessa etapa são filtração, floculação e sedimentação. No tratamento secundário, normalmente são empregadas reações químicas para melhorar a qualidade da água residual. O ajuste de pH é realizado nesse tipo de tratamento. Já os processos biológicos são utilizados para remoção de compostos orgânicos no efluente líquido e tem como objetivo decompor substâncias poluentes em produtos estáveis, através de reações bioquímicas de microrganismos (Amelio et al., 2014; Furtado et al., 2020).

É válido lembrar que o método empregado para tratar a água residual depende muito das características do efluente. Um método que vem sendo estudado e utilizado para tratar efluente têxtil na remoção de corantes é a adsorção, que se mostra altamente eficiente, de fácil manipulação e baixo custo, frente aos processos já mencionados (Brígida et al., 2010). A técnica de adsorção consiste no acúmulo de substâncias na interface, entre duas fases, tais como sólido-líquido e sólido-gás. A substância que é adsorvida é chamada de adsorbato e o sólido onde ocorre a adsorção é chamado de adsorvente (Dor et al., 2025). A adsorção pode sofrer influência da temperatura, tempo de detenção hidráulica, pH do meio, concentração de adsorvente e granulometria dele (Boumghar et al., 2020). Os adsorventes sólidos podem ser oriundos de diferentes materiais como biomassa, natural, sintético, rejeito agrícola, rejeito industrial. No entanto, devem apresentar principalmente a capacidade de retenção, ser termicamente estável, não ocasionar reações indesejáveis e ser economicamente viável (Freitas & Júnior, 2022).

Estudos recentes apontam a biomassa extraída do coco verde como um material substituto eficiente na adsorção de contaminantes em efluentes (Melani et al., 2021). A espécie *Cocus nucifera* L., pertencente à família Arecaceae (Palmae), compreende diversas variedades, sendo as mais relevantes a *Cocos nucifera* var. *typica*, conhecida no Brasil como “Gigante”, *Cocos nucifera* var. *nana*, chamada de “Anã”, além do híbrido resultante do cruzamento entre essas espécies (SEBRAE, 2016). O fruto do coqueiro, conhecido como coco verde, constitui cerca de 80 a 85% do peso total do fruto, apresenta poder calorífico superior (PCS) em torno de 5.447,38 kcal/kg, sendo composto por 48,23% de carbono; 5,23% de hidrogênio; 33,19% de



oxigênio; 2,98% de nitrogênio; 0,12% de enxofre e 10,25% de outros elementos (Silva et al., 2013), tem sido empregado como substituto da lenha como combustível em caldeiras, substrato agrícola, isolamento térmico, artesanato e material adsorvente (Kumar et al., 2024; Wonorahardjo et al., 2018).

No entanto, devido ao alto teor de umidade presente no mesocarpo, cerca de 85%, o material precisa passar por uma etapa de secagem para melhor aproveitamento em sua utilização posterior (Akhoundi et al., 2022). Desta forma, faz-se necessário um pré-tratamento inicial para sua aplicação com o intuito de incrementar o tempo de vida útil e sua posterior reutilização. Assim, o presente artigo tem por objeto avaliar a eficácia do resíduo de caldeira e fibras de coco desidratadas como materiais adsorventes para tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial.

2 METODOLOGIA

2.1 LOCAL DA PESQUISA

Neste estudo foram empregados resíduos de caldeira (RC), fibras de coco desidratadas (FC) e efluente de uma lavanderia industrial hospitalar situada na zona industrial de São Luís, Estado do Maranhão. As análises dos materiais adsorventes foram realizadas em laboratórios do Departamento de Engenharia Química – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente foi coletado em três pontos diferentes da estação de tratamento (ETE) da lavanderia industrial, os quais foram identificados como: Lagoa, Entrada da Lagoa e Saída da Lagoa. A estação de tratamento tem uma capacidade para tratamento de 372 m³/dia. Este efluente é composto principalmente de resíduos do ciclo de lavagem (detergente ácido, alvejante, detergente alcalino) junto com matéria orgânica. Assim, amostras do efluente foram coletadas durante o período chuvoso, no início do ano de 2023, dividido em três campanhas, a primeira em 14 de abril, a segunda em 28 de abril e a terceira em 12 de maio. Todas as amostras foram submetidas a análises de pH (Método 4500 H); temperatura (Método 2550 B), turbidez (Método 2130 B), cor aparente (Método 2120 B), condutividade (Método 2510 B) Demanda Bioquímica de Oxigênio (Método 5210 B), coliformes totais (Método 9222 B), nitrogênio total (Método 4500NC) e nitrogênio amoniacal (Método 4500NH3D), conforme métodos descritos



no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW), 23ª edição (APHA, 2023).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS ADSORVENTES

Amostras do Resíduo da Caldeira (RC) e fibras de coco (FC) foram pulverizadas e padronizada conforme norma ABNT NBR 11834:1991 (ABNT, 1991a) e, posteriormente submetidas a análises de:

2.3.1 Determinação do número de iodo

A determinação do número de iodo foi realizada conforme o procedimento experimental descrito pela ABNT NBR 12073: 1991 (ABNT, 1991b) e adaptado de Lucena (2018).

2.3.2 Determinação de Grupos de Superfície pelo Método de Boehm

As concentrações relativas dos diferentes grupos funcionais de superfície foram determinadas pelo método de Boehm (Boehm, 1994), no qual amostras de RC e FC foram mantidas em contato com soluções aquosas de NaHCO_3 , NaOH , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}$ ou Na_2CO_3 por 72 h em temperatura ambiente. Alíquotas da fase líquida de cada sistema são, então, tituladas com HCl 0,1 mol/L.

2.3.3 Determinação do Ponto de Carga Zero (PCZ)

Amostras de RC e FC foram submetidas a diferentes pontos de titulação potenciométricas a fim de definir curvas de adsorções iguais de H^+ e OH^- . A análise foi baseada nas metodologias descritas por Lucena (2018) e Pérez, Campos e Teixeira (2017) com alterações.

2.3.4 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Foram determinados os grupos funcionais pelo método de FTIR empregando um espectrofotômetro IR (modelo IR-Prestige 21, Shimadzu, Japão), sendo cada amostra homogeneizada com o reagente analito de brometo de potássio (KBr) e, os espectros de transmitância na região do infravermelho obtidos no comprimento de onda compreendido de 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 40.

5.4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A estrutura superficial do RC e FC foi estudada por meio de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). O equipamento utilizado foi um microscópio eletrônico de varredura (modelo TM3030, Hitachi, Japão), operando com tensão de aceleração de 15 kV.

2.4 ENSAIO DE FILTRAÇÃO COM RC E FC



Para realização dos ensaios de filtração foi utilizado um equipamento de filtração contínua e de módulos variáveis como observado na Figura 1. Neste, utilizou-se uma coluna preenchida com resíduos de caldeira Coluna 1) e uma coluna preenchida com fibra de coco (Coluna 2), as colunas apresentavam comprimento de 1 metro e 10 cm de diâmetro. Para avaliação do poder adsorvente de cada material, o efluente coletado foi bombeado para o filtro em fluxo contínuo de forma individual.

Figura 1

Sistema de filtração utilizado nos ensaios de adsorção



Fonte: autores (2024).

A vazão de operação utilizada foi de 30 L/h, onde alíquotas foram coletadas nos tempos de 0, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 90 e 120 minutos a fim de avaliar as alterações de pH e turbidez durante o processo de filtração. Tais parâmetros foram aferidos através dos equipamentos pHmetro (modelo AT355, Alfakit, Brasil) e turbidímetro de bancada (modelo II/C, Alfakit, Brasil).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DA LAVANDERIA INDUSTRIAL

As análises de caracterização do efluente utilizado foram realizadas seguindo os procedimentos disponíveis na literatura, com equipamentos devidamente calibrados e soluções padronizadas, a fim de minimizar possíveis erros durante as análises. Assim, a Tabela 1



apresenta os resultados obtidos das análises de caracterização do efluente realizadas durante as três campanhas.

Tabela 1

Resultados da caracterização do efluente nas diferentes campanhas.

Ponto de coleta	Temperatura de coleta (°C)	Parâmetro	Valores dos parâmetros			Método de Referência SMEWW 23th ed.
			1 ^{ra} campanha	2 ^{da} campanha	3 ^{ra} campanha	
Lagoa	34,1±4,2	Condutividade [µs/cm]	205	371	196,7	2510 B
		pH	6,77	7,62	7,50	4500 H
		Turbidez [NTU]	31,7	27,7	35,1	2130 B
		Cor [mg/L Pt/Co]	140	80	90	2120
		Coliformes Totais [UFC/100mL]	> 2·10 ⁵	> 6,4·10 ³	> 9,7·10 ⁴	9222 B
		DBO [mg/L]	59,6	41,8	45,6	5210 B
		Nitrogênio Total [mg/L]	2,05	3,19	9,60	4500 N C
		Nitrogênio Amoniacal [mg/L]	1,17	1,91	7,06	4500 NH3D
Entrada da lagoa	40,9±5,0	Condutividade [µs/cm]	207	345	200	2510 B
		pH	9,10	9,77	9,93	4500 H
		Turbidez [NTU]	26,0	19,4	35,6	2130 B
		Cor [mg/L Pt/Co]	60	50	140	2120
		Coliformes Totais [UFC/100mL]	9·10 ⁴	0	>2·10 ⁵	9222 B
		DBO [mg/L]	85,5	25,4	46,8	5210 B
		Nitrogênio Total [mg/L]	2,15	1,08	6,38	4500 N C
		Nitrogênio Amoniacal [mg/L]	0,43	0,65	2,97	4500 NH3D
Saída da lagoa	33,2±2,3	Condutividade [µs/cm]	216	298	228	2510 B
		pH	7,22	7,54	7,19	4500 H
		Turbidez [NTU]	26,1	26,7	94,4	2130 B
		Cor [mg/L Pt/Co]	100	120	220	2120
		Coliformes Totais [UFC/100mL]	>2·10 ⁵	>9·10 ⁴	>2·10 ⁵	9222 B
		DBO [mg/L]	50,8	38,2	52,1	5210 B
		Nitrogênio Total [mg/L]	1,72	7,46	24,30	4500 N C
		Nitrogênio Amoniacal [mg/L]	1,00	6,70	19,80	4500 NH3D

1^{ra} campanha: 14 de abril de 2023; 2^{da} campanha em 28 de abril 2023; 3^{ra} campanha: 12 de maio 2023.

Os resultados mostram que o efluente da lavanderia apresenta variações em algumas propriedades em função do ponto de coleta. A entrada do efluente é o ponto onde o efluente



proveniente do ciclo de lavagem chega até a lagoa, e a saída é o ponto por onde o efluente da lagoa passa por um processo de decantação para posterior envio à rede municipal. Pode-se observar que a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) da saída apresenta valor superior ao da entrada, sugerindo que o método de tratamento atual não está cumprindo com o seu objetivo, portanto, é essencial avaliar e implementar métodos de tratamento mais eficazes, como processos oxidativos avançados ou sistemas de lodos ativados, para garantir que o efluente final atenda aos parâmetros de qualidade exigidos pela legislação ambiental (Souza et al., 2019).

Segundo Furtado *et al.*, (2020) e Lopes et al., (2019) a carga orgânica do efluente estudado é a maior responsável pela alteração da qualidade do efluente, interferindo diretamente na demanda bioquímica de oxigênio. O aumento significativo nos valores obtidos, podem estar associados à disposição do efluente, considerando que a caixa equalizadora, onde foi realizada a coleta do efluente tratado, fica a céu aberto, com chances de cair mais sujidades dentro dela, conseqüentemente, elevando também valores de sólidos suspensos, turbidez e condutividade. Outros estudos indicam que efluentes de lavanderias industriais podem apresentar uma DBO de 2 a 5 vezes maior que a dos esgotos domésticos, devido à presença de fibras de tecidos, tensoativos, óleos e graxas, corantes e outros produtos utilizados no processo de lavagem. Esses componentes aumentam a carga orgânica e a quantidade de sólidos suspensos no efluente, dificultando o tratamento e elevando os valores de DBO na saída do sistema de tratamento (Buss et al., 2015).

Considerando a datas das coletas, o incremento dos valores dos resultados da 3^{ra} campanha mostram que a lagoa tende a estabilizar no período de menor chuva, comparado aos resultados da 1^{ra} e 2^{da} campanha, sendo estes meses os mais chuvosos. Assim, parâmetros como cor, turbidez, nitrogênio total e amoniacal apresentaram maiores valores devido à concentração de matéria orgânica e proliferação de cianobactérias na lagoa neste período, principalmente na saída da lagoa onde há o decantador. A proliferação de cianobactérias em efluentes de lavanderias industriais está associada ao aporte excessivo de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, presentes nos detergentes e produtos químicos utilizados nos processos de lavagem. Esses nutrientes, quando lançados sem tratamento adequado, podem promover o crescimento acelerado de cianobactérias, levando à eutrofização dos corpos hídricos receptores. Estudos indicam que o lançamento de efluentes sem tratamento adequado gera uma série de perturbações no corpo hídrico, contribuindo para a eutrofização (Barbosa & Cirilo, 2015; Igwaran et al., 2024).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CALDEIRA



3.2.1 Determinação do número de iodo

A Tabela 2 apresenta os valores para o número de iodo encontrados para o resíduo de caldeira e fibras de coco desidratadas.

Tabela 2

Valores do número de iodo para dos materiais adsorventes.

Material	Massa (mg)	Volume Titulado (ml)	Nº Iodo (sem correção)	Normalidade do Filtrado Residual	Nº Iodo ($\text{mgI}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)
RC	1,0008±0,0007	31,36±1,00	264,00±25,16	0,0566±0,0018	250,96±23,92
FC	1,0036±0,0008	36,53±0,40	136,52±10,51	0,0659±0,0007	129,77±9,99

Como pode ser observado, os valores médios do índice de iodo encontrado para RC e FC foram de $250,96 \pm 23,92 \text{ mgI}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ e $129,77 \pm 9,99 \text{ mgI}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, respectivamente. Ambos os valores se encontram inferiores em relação ao número de iodo considerado ideal para o carvão ativado comercial, o qual deve ser superior a $600 \text{ mgI}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ (ABNT, 1991b). Tal fato pode ser atribuído ao caso de que os materiais utilizados não passaram por processos de ativação física ou química (Fischer et al., 2019; Zhou et al., 2014). Desta forma, considerando que o número de iodo indica a quantidade de microporos do material e mesmo os valores sendo baixos comparado aos produtos comerciais, ambos os materiais tornassem promissores para prospecção como sistemas filtrantes, visto que não há custo com obtenção e pré-tratamento do material.

3.2.2 Determinação de grupos de superfície pelo método de Boehm

Os resultados encontrados nas amostras mostraram que os grupos predominantes de superfície são os ácidos. Estes dados podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 3

Resultado das análises realizadas pelo método de Boehm.*

Material	Grupos básicos (mEq/g)	Grupos ácidos		
		Grupos carboxílicos (mEq/g)	Grupos fenólicos (mEq/g)	Grupos lactônicos (mEq/g)
RC	0,06	0,5	2	2,45
FC	0,05	0,8	3,25	1

Estudos similares como o realizado por de Araújo et al., (2018) reforçam essa tendência do RC e FC em apresentar uma maior quantidade de grupos funcionais ácidos em relação aos básicos. Alguns trabalhos reforçam essa tendência de as fibras do coco in natura apresentar uma maior quantidade de grupos funcionais ácidos (Zhou et al., 2014). Materiais com propriedades superficiais ácidas possuem melhor desempenho em troca catiônica, favorecendo assim a adsorção de espécies iônicas de alumínio e ferro (Boehm, 1994).

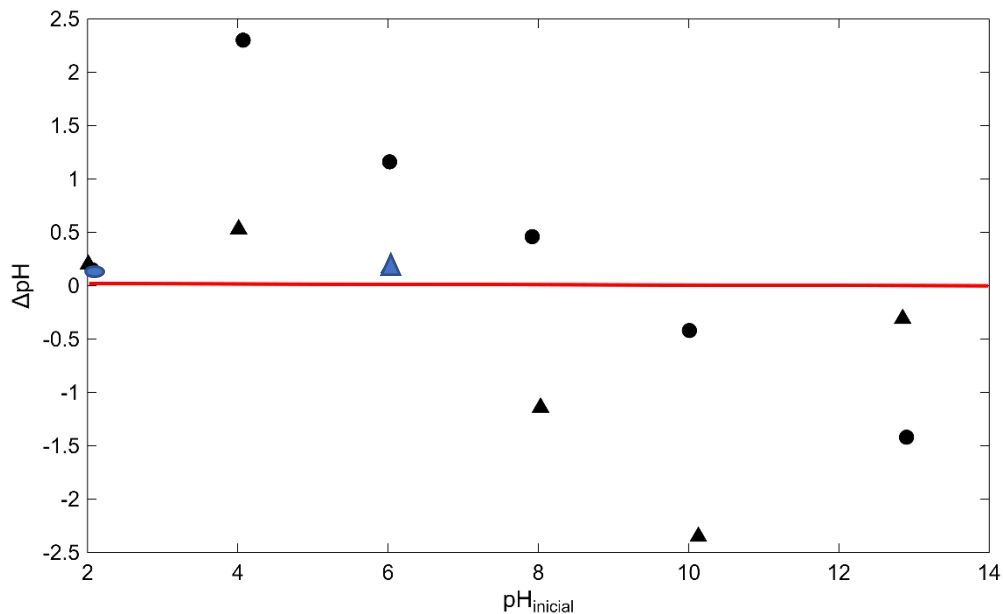


3.2.3 Determinação do Ponto de Carga Zero (PCZ)

A Figura 2 mostra os valores do ponto de carga zero para os materiais adsorventes, sendo encontrado um valor de PCZ=2,06 para o RC e PCZ=6,02 para o FC. Estes valores indicam um pH ácido para ambos os materiais, corroborando a predominância de grupos ácidos presentes na superfície destes. Este resultado pode ser atribuído à fonte de obtenção do RC e FC já que os gases de combustão gerados na caldeira e do ar desencante tendem a ser de grupos ácidos (NOx e SOx) (Boumghar et al., 2020), comparado a outros materiais similares pré-tratados em condições controladas (Bernal et al., 2017; Lucena, 2018).

Figura 2

Ponto de carga zero para os materiais adsorventes, resíduo de caldeira (●) e fibras de coco desidratadas (▲).



3.2.4 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

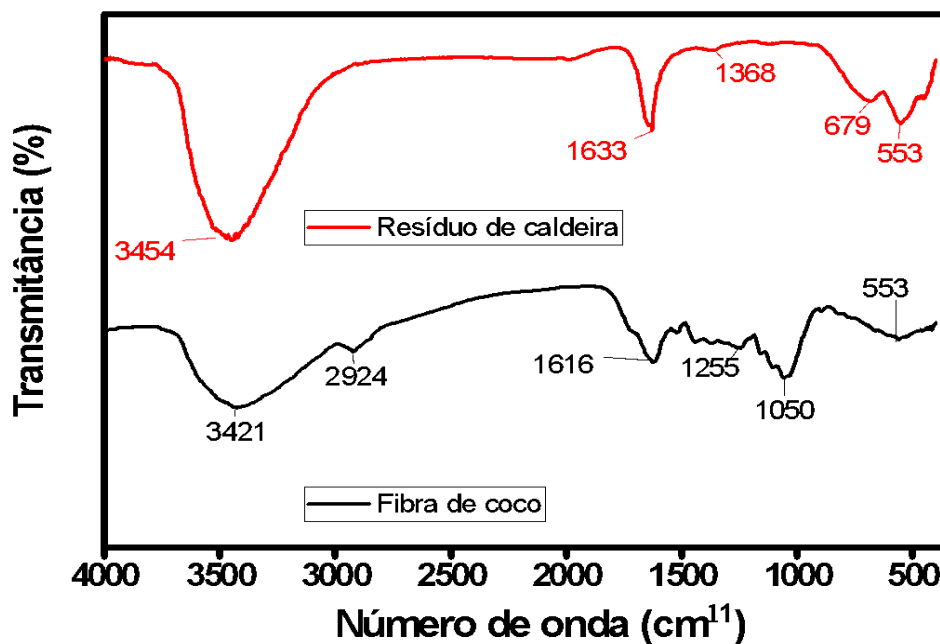
A Figura 3 apresenta aos grupos funcionais presentes nas amostras adsorventes de RC. Como observado na figura ambos os materiais apresentaram picos na região de 3500 cm^{-1} a 3000 cm^{-1} , tal característica refere-se à vibração de estiramento OH, típica de fibras naturais, devido à presença da hidroxila na celulose e na hemicelulose. A presença de picos associados às fibras naturais no RC sugere que não houve a carbonização completa do material. O pico de vibração próximo a 2920 cm^{-1} está relacionado à vibração simétrica do C–H, que se relaciona aos grupos metileno e metila, já não é possível observar essa característica no espectro do Resíduo de Carvão. A presença de ligações C=C são sinalizadas pelo valor aproximado de 1630



cm^{-1} da estrutura de carbono (Brígida et al., 2010). O pico de aproximadamente 1050 cm^{-1} observado no espectro da fibra de coco é referente às vibrações tanto do alongamento de C–O em celulose, hemicelulose e lignina, quanto ao alongamento de CO–C em hemicelulose e celulose (Freitas & Júnior, 2022). Através dos resultados de FTIR pode-se observar que o RC apresenta menos picos acentuados devido ao tratamento térmico recebido, ocasionando a ruptura e remoção do complexo lignina-celulose-hemicelulose. A remoção de lignina e hemicelulose ocasiona uma redução da cristalinidade e, por consequência, promove o aumento da porosidade do material (Freitas & Júnior, 2022). Finalmente, não foram observados picos de nenhum mineral, indicando sua aplicação como material filtrante para tratamento de efluentes. Este resultado é similar ao encontrado por Figueredo et al., (2014) para carvões produzidos a partir de madeira de eucalipto.

Figura 3

Espectros de FTIR dos materiais adsorventes



3.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

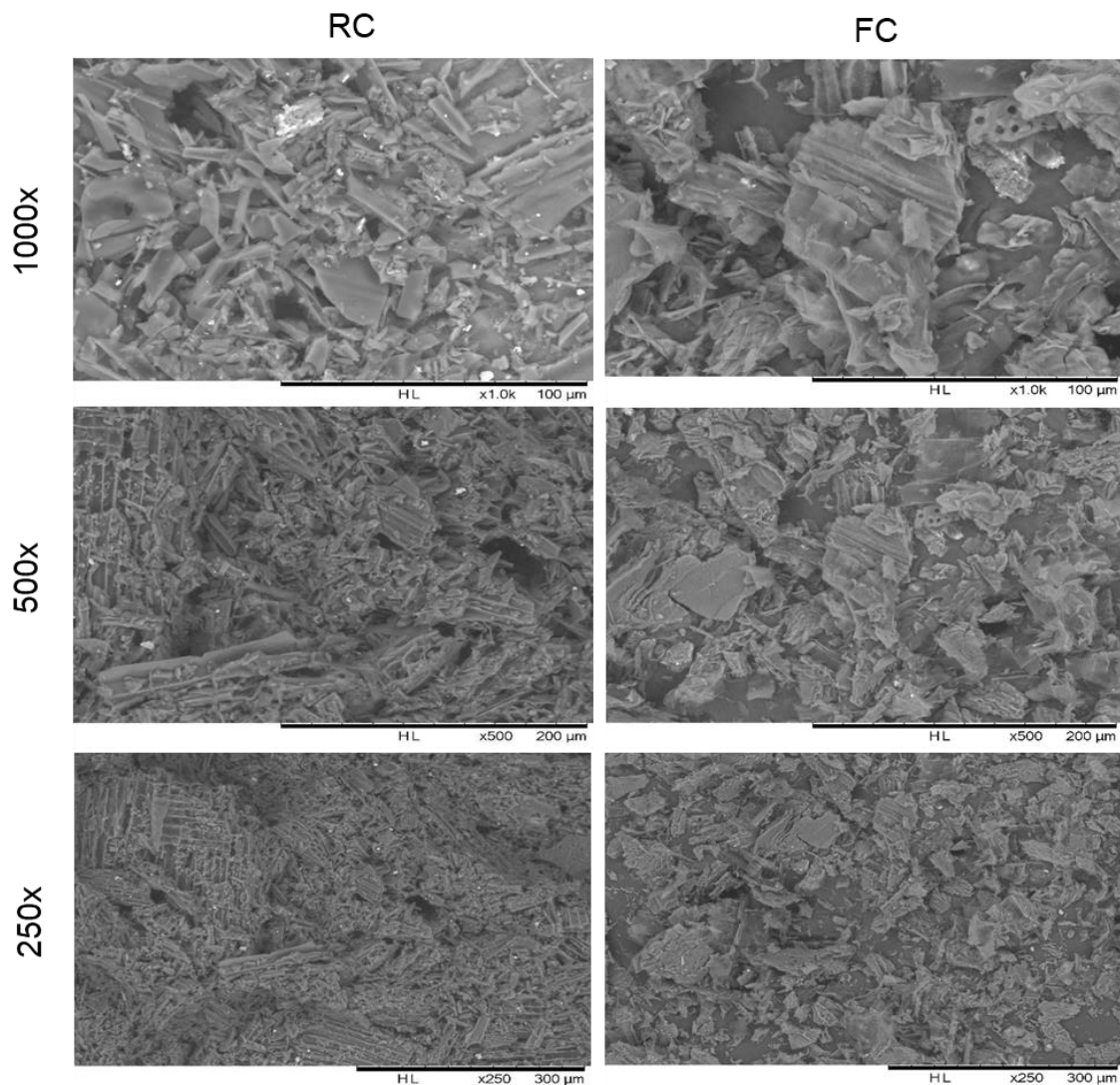
Como pode ser observado na Figura 4, ambos os materiais apresentam poros distribuídos de forma homogênea. Tal característica pode estar associada ao fato de que o RC passou por um processo de carbonização e as fibras de coco por um processo de secagem com gases de combustão, favorecendo o surgimento poros intersticiais. Observam-se zonas de contraste contínuo, em escala de microns exibindo uma estrutura porosa formada pela



montagem de partículas menores devido à evaporação de água intersticial. Este tipo de estrutura demonstra uma boa capacidade de absorção comparado a materiais já amplamente utilizados, como carvão ativado Adianata et al., (2007), nanoestruturas de carbono de plantas amazônicas (Jorio et al., 2012) e, carvão de solo orgânico (Dor et al., 2025).

Figura 4

Micrografia Eletrônica de Varredura do resíduo de caldeira (RC) e fibras de coco desidratadas (FC) na resolução de 100 μm (1000x), 200 μm (500x) e 300 μm (250x).



3.3 ENSAIO DE FILTRAÇÃO

Os ensaios de filtração foram realizados na vazão de 30 L/s, selecionada como a vazão média operacional, ensaios prévios foram realizados nas vazões de 60 L/s e 120 L/s, mas os resultados obtidos não foram tão satisfatórios. Assim, utilizou-se o efluente coletado na estação de tratamento estudada e o sistema de filtração com coluna preenchida com os Resíduos de



Caldeira. Os resultados das características do efluente em função do tempo encontrassem na Tabela 4.

Na tabela se observa uma diminuição de 80% da turbidez do efluente após 10 minutos de filtração com o RC, sendo atingido um valor máximo de 96,15% na diminuição da turbidez após um tempo de 60 min. Ao analisar o filtro de RC, percebe-se que a eficiência se manteve durante o tempo de estudo de 120 min, mostrando que a biomassa oriunda de uma caldeira tem uma eficiência considerável para o tratamento de efluentes industriais. Já os ensaios com FC foi observada uma diminuição de 44,9% da turbidez do efluente no tempo de 90min. Por outro lado, o pH manteve-se na faixa 7,5 a 8,7 quando empregado o RC, e de 9,81 quando empregado com FC, valores aceitáveis como parâmetro para lançamento de efluente, segundo o CONAMA n° 430/2011 (CONAMA, 2011). Comprando os resultados, observa-se um melhor desempenho do RC em relação ao FC, uma vez que durante os ensaios de caracterização da biomassa, o resíduo de caldeira demonstrou melhores características adsorptivas, quando comparado às fibras de coco desidratadas. Nos estudos de Michelin (2021) e Guanina (2017), com filtro de fibra de coco misturado com areia, obteve-se eficiência máxima de 96% no parâmetro turbidez.

Tabela 4

Resultados do pH e turbidez do efluente filtrado em uma coluna com RC.

Tempo (min)	RC		FC	
	pH	Turbidez (NTU)	pH	Turbidez (NTU)
0	9,03±0,02	105,00±2,23	6,48±0,02	68,10±1,28
10	7,51±0,01	5,47±0,13	6,47±0,17	43,63±0,37
15	8,40±0,01	5,42±0,05	6,77±0,05	41,60±0,35
20	8,56±0,05	4,87±0,10	6,96±0,01	40,30±0,37
30	8,79±0,04	6,40±0,20	8,72±0,04	39,40±0,21
40	8,80±0,04	7,99±0,11	9,56±0,04	38,73±0,31
50	8,74±0,04	5,09±0,10	9,75±0,02	38,50±0,21
60	8,39±0,04	4,04±0,01	9,80±0,00	38,20±0,21
90	8,14±0,02	4,48±0,05	9,77±0,04	37,50±0,22
120	8,01±0,02	4,43±2,23	9,79±0,02	38,13±0,48

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo avaliou a eficiência do resíduo de caldeira e da fibra de coco como bioadsorventes na remoção de turbidez de efluentes de lavanderia hospitalar. Os resultados demonstraram que o resíduo de caldeira apresentou melhor desempenho, reduzindo a turbidez



em até 96,15% após 60 minutos de filtração, enquanto a fibra de coco obteve uma remoção máxima de 44,9%. A caracterização dos materiais confirmou diferenças estruturais que influenciaram na capacidade adsorvente, sendo o resíduo de caldeira mais poroso e, portanto, mais eficiente na retenção de partículas. Embora ambos os materiais tenham apresentado propriedades adsorventes inferiores aos materiais comerciais, sua aplicação representa uma alternativa sustentável e de baixo custo para o tratamento de efluentes, contribuindo para a redução da poluição ambiental. Ressalta-se a importância inegável de projetos que envolvem ciência, tecnologia e inovação (CT&I) para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis). Além disso, a integração de práticas de economia circular, como a reutilização de resíduos industriais, promove não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também a eficiência econômica, ampliando a vida útil dos materiais e reduzindo o desperdício. Portanto, o desenvolvimento de tecnologias inovadoras de tratamento de efluentes e a reciclagem de materiais são essenciais para mitigar os impactos ambientais, garantir a preservação dos recursos naturais e promover um crescimento sustentável, alinhando-se com os princípios dos ODS e contribuindo para um futuro mais equilibrado e sustentável.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos laboratórios Central Analítica de Química do Departamento de Química/UFMA, Laboratório de Biomateriais Odontologia (BIOMMA) do Departamento de Odontologia/UFMA e Laboratório de Surfactantes do Departamento de Engenharia Química/UFMA pela realização dos ensaios. À Lavare Gestão de Têxteis S/A pelo fornecimento do efluente, resíduos da caldeira e coco desidratado para o estudo.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT. (1991a). Carvão Ativado Pulverizado. In (Vol. NBR 11834, pp. 2). Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT. (1991b). Ativado Pulverizado - Determinação do número de iodo. In (Vol. NBR 12073, pp. 2). Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Adinata, D., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2007). Preparation and characterization of activated carbon from palm shell by chemical activation with K₂CO₃. *Bioresource Technology*, 98(1), 145-149. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.11.006>



- Akhoundi, M., Nasrallah, J., Marteau, A., Chebbah, D., Izri, A., & Brun, S. (2022). Effect of Household Laundering, Heat Drying, and Freezing on the Survival of Dermatophyte Conidia. *J Fungi (Basel)*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/jof8050546>
- Amelio, A., Genduso, G., Vreysen, S., Luis, P., & Van der Bruggen, B. (2014). Guidelines based on life cycle assessment for solvent selection during the process design and evaluation of treatment alternatives [10.1039/C3GC42513D]. *Green Chemistry*, 16(6), 3045-3063. <https://doi.org/10.1039/C3GC42513D>
- APHA. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24 ed.). American Public Health Association.
- Barbosa, I. B. R., & Cirilo, J. A. (2015). Contribuição média de fósforo em reservatório de abastecimento de água - Parte 1. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 20.
- Bernal, V., Erto, A., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2017). Effect of Solution pH on the Adsorption of Paracetamol on Chemically Modified Activated Carbons. 22(7), 1032. <https://www.mdpi.com/1420-3049/22/7/1032>
- Boehm, H. P. (1994). Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. *Carbon*, 32(5), 759-769. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-6223\(94\)90031-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-6223(94)90031-0)
- Boumghar, S., Bedel, S., Sigot, L., & Vallières, C. (2020). Adsorption of CO₂ in presence of NO_x and SO_x on activated carbon textile for CO₂ capture in post-combustion conditions. *Adsorption*, 26(7), 1173-1181. <https://doi.org/10.1007/s10450-020-00207-6>
- Brígida, A. I. S., Calado, V. M. A., Gonçalves, L. R. B., & Coelho, M. A. Z. (2010). Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. *Carbohydrate Polymers*, 79(4), 832-838. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.10.005>
- Buss, M. V., Ribeiro, E. F., Homrich Schneider, I. A., & Salomé dos Santos Menezes, J. C. (2015). TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE DIFERENTES PROCESSOS DE TRATAMENTO. *Revista de Engenharia Civil IMED; v. 2, n. 1 (2015): Janeiro-AbrilDO* - 10.18256/2358-6508/rec-imed.v2n1p2-10. <https://seer.atitus.edu.br/index.php/revistaec/article/view/777>
- CONAMA. (2011). Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. In C. N. d. M. Ambiente (Ed.), (Vol. Resolução n.: 430 de 2011). Brasília: Ministério do Meio Ambiental.
- Cunha, A. L. X., Neto, L. M. P., Arruda, V. C. M. d., Silva, V. d. P., Filho, M. C., & Tavares, R. G. (2019). Tratamento físico-químicos de efluente têxtil utilizando Sulfato de Alumínio, Carvão Ativado e Moringa Oleifera. *Revista Geama*, 5(3), 47-55. <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/2882>
- de Araújo, P. C. C., Gonçalves Júnior, D. R., Cardozo Filho, L., Santos, E. d. J., & Marques, J. J. (2018). Uso de carvão ativado na remoção de CO₂. *Scientia Plena*, 14(5). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2018.054201>
- Dor, M., Regier, T., Arthur, Z., Guber, A. K., & Kravchenko, A. N. (2025). Micro-scale mapping of soil organic carbon using soft X-ray spectromicroscopy. *Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01817-0>
- Figueredo, N. A., Costa, L. M. d., Siebeneichler, E. A., Passos, R. R., & Tronto, J. (2014). Caracterização química e mineralógica de carvões vegetais coletados em diferentes ambientes. *Revista Árvore*, 38.
- Fischer, H. C. V., Lima, L. S. d., Felsner, M. L., & Quináia, S. P. (2019). Estudo da capacidade de adsorção de carvões ativados comerciais <i>versus</i> tempo de armazenamento. *Ciência Florestal*, 29.
- Freitas, S. d. S., & Júnior, A. A. d. S. (2022). Remoção de corantes têxteis de meio aquoso por adsorção em fibra de coco: Removal of textile dyes of aqueous solution by adsorption



- in coconut fiber. *Brazilian Journal of Development*, 8(12), 80107-80126. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-219>
- Furtado, A. O., Almeida, I. V., Almeida, A. C. C., Zotesso, J. P., Tavares, C. R. G., & Vicentini, V. E. P. (2020). Evaluation of hospital laundry effluents treated by advanced oxidation processes and their cytotoxic effects on *Allium cepa* L. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(6), 360. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08328-9>
- Guanina, J. D. P. Y. (2017). *Análises de la fibra de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la curtiembre moyolsa, ubicada en la parroquia pishlata de la ciudad de Ambato* [Doutorado, Universidad Técnica de Ambato]. Ambato.
- Igwaran, A., Kayode, A. J., Moloantoa, K. M., Khetsha, Z. P., & Unuofin, J. O. (2024). Cyanobacteria Harmful Algae Blooms: Causes, Impacts, and Risk Management. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(1), 71. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06782-y>
- Jorio, A., Ribeiro-Soares, J., Cançado, L. G., Falcão, N. P. S., Dos Santos, H. F., Baptista, D. L.,...Achete, C. A. (2012). Microscopy and spectroscopy analysis of carbon nanostructures in highly fertile Amazonian anthrosoils. *Soil and Tillage Research*, 122, 61-66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2012.02.009>
- Kumar, B., Raj, A. K., Szepesi, G., & Szamosi, Z. (2024). Evaluating the efficacy of coconut oil as thermal storage media for enhancing solar drying performance of wood fuels. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 149(10), 4937-4955. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13038-2>
- Lopes, C. M., Scavarda, A. J., de Carvalho, M. N. M., Vaccaro, G., & Korzenowski, A. L. (2019). Analysis of Sustainability in Hospital Laundry: The Social, Environmental, and Economic (Cost) Risks. 8(1), 37. <https://www.mdpi.com/2079-9276/8/1/37>
- Lucena, L. M. (2018). *Estudo do processo de adsorção com O carvão ativado proveniente do endocarpo de coco (Coccus nucifera L.) para remoção de cor, DQO e toxicidade de efluente têxtil* Universidade Federal de Pernambuco]. Caruaru.
- Melani, L. B., Ströher, G. R., & Ströher, G. L. (2021). Estudo comparativo das Isotermas de Langmuir e Freundlich em carvão de casca de coco verde com carvão comercial ativado / Comparative study of Langmuir and Freundlich isotherms on green coconut shell charcoal with commercial activated carbon. *Brazilian Journal of Development*, 7(3), 22840-22851. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-142>
- Melián, E. P., Santiago, D. E., León, E., Reboso, J. V., & Herrera-Melián, J. A. (2023). Treatment of laundry wastewater by different processes: Optimization and life cycle assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109302. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109302>
- Michelan, D. C. d. G. S. (2021). Uso de materiais não convencionais misturados commareia no meio filtrante para o tratamento de água para consumo humano. In (pp. 43). Sergipe: Universidade Federal de Sergipe.
- Pérez, D. V., Campos, D. V. B., & Teixeira, P. C. (2017). Ponto de carga zero (PCZ). In P. C. Teixeira, G. K. Donagemma, A. Fontana, & W. G. Teixeira (Eds.), *Manual de Métodos de Análise de Solo* (3 ed., pp. 249-258). EMBRAPA.
- Queiroz, M. T. A., Paes de Lima, L. R., Alvim, L. B., Leão, M. M. D., & Amorim, C. C. (2016). Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 8(15), 114-135. <https://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/3489>
- Rampelotto, G. (2020). *Tratamento de águas de uma lavanderia industrial por flotação-filtração* [Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria]. Santa Maria.
- SEBRAE. (2016). *O cultivo e o mercado do coco verde, água de coco e suas propriedades isotônicas impulsionam a produção de coco verde no país, inclusive no interior de vários estados*. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae).



- Retrieved 27/04 from www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde,3aba9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD
- Silva, K. M. D., Rezende, L. C. S. H., Silva, C. A., Bergamasco, R., & Gonçalves, D. S. (2013). Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. *Engevista*, 15(1), 43-50.
- Souza, M. C., Vargas, A., Saueressig, G., & Luchese, J. (2016). Análise das práticas de reuso de água residual: estudo de casos em lavanderias industriais. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 20(1), 497-514.
- Souza, R. C., Silva, T. L. d., Santos, A. Z. d., & Tavares, C. R. G. (2019). Tratamento de efluentes de lavanderia hospitalar por processo oxidativo avançado: UV/H₂O₂. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24.
- Wonoraharjo, S., Sutjahja, I. M., Kurnia, D., Fahmi, Z., & Putri, W. A. (2018). Potential of Thermal Energy Storage Using Coconut Oil for Air Temperature Control. 8(8), 95. <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/8/95>
- Zhou, J., Hao, S., Gao, L., & Zhang, Y. (2014). Study on adsorption performance of coal based activated carbon to radioactive iodine and stable iodine. *Annals of Nuclear Energy*, 72, 237-241. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.05.028>
- Zoroufchi Benis, K., Behnami, A., Aghayani, E., Farabi, S., & Pourakbar, M. (2021). Water recovery and on-site reuse of laundry wastewater by a facile and cost-effective system: Combined biological and advanced oxidation process. *Science of The Total Environment*, 789, 148068. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148068>



7. CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO

7.1. Importância Social

O estudo sobre o uso de resíduos de caldeira e fibras de coco desidratadas como sistemas filtrantes para efluentes de lavanderia hospitalar possui uma significativa importância social, pois contribui para a melhoria da qualidade da água descartada no meio ambiente. Isso reduz impactos negativos à saúde pública, prevenindo a contaminação de corpos hídricos utilizados para abastecimento e lazer. Além disso, ao propor soluções sustentáveis para o tratamento de efluentes, o estudo favorece a conscientização ambiental e incentiva práticas mais responsáveis nas indústrias, incluindo o setor hospitalar. Outro aspecto social relevante é a possibilidade de geração de empregos, uma vez que a utilização desses materiais pode fomentar cadeias produtivas voltadas ao aproveitamento de resíduos orgânicos e industriais. Assim, o projeto não apenas promove melhorias ambientais, mas também incentiva a inclusão social e o desenvolvimento sustentável das comunidades envolvidas.

7.2. Importância Econômica

A pesquisa apresenta um grande impacto econômico, pois propõe um método alternativo e de baixo custo para o tratamento de efluentes industriais, reduzindo a dependência de tecnologias com valor mais elevado, como carvão ativado comercial. A utilização de resíduos industriais e biomassa abundante, como a fibra de coco, diminui custos operacionais para as empresas que necessitam tratar seus efluentes, permitindo a otimização de processos sem comprometer a eficiência na remoção de contaminantes. Além disso, a aplicação desse sistema pode gerar economia ao setor industrial ao evitar multas ambientais e despesas com descarte inadequado de resíduos. Outro benefício econômico relevante é a possibilidade de agregar valor a resíduos subaproveitados, estimulando novos mercados para a comercialização de filtros sustentáveis. Dessa forma, a pesquisa contribui para a economia circular, promovendo inovação e desenvolvimento tecnológico com retorno financeiro para empresas e comunidades locais.



7.3. Importância Ambiental

Do ponto de vista ambiental, este estudo oferece uma solução sustentável para a mitigação da poluição hídrica causada pelo descarte inadequado de efluentes. A reutilização de resíduos da caldeira e fibras de coco como adsorventes reduz significativamente a carga poluente da água tratada, minimizando impactos em ecossistemas aquáticos e evitando processos como a eutrofização. Além disso, a valorização desses resíduos diminui a necessidade de descarte em aterros sanitários, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa associados à decomposição orgânica. O projeto também reforça a importância da economia circular, reaproveitando materiais que seriam descartados e transformando-os em soluções ambientais eficazes. Assim, a pesquisa contribui diretamente para a conservação dos recursos naturais, promovendo práticas mais responsáveis e sustentáveis no tratamento de efluentes.